

16. BILANCIO ENERGETICO DELL'EDIFICIO

16.1 INTRODUZIONE

La legislazione italiana prevede la certificazione energetica degli edifici [1,2,3,4]. Gli edifici, o meglio i sistemi edificio-impianto, devono essere classificati in base ad un indice di prestazione energetica globale (EPgl), definito, nel caso di edifici residenziali con occupazione continuativa, come rapporto tra la domanda annua di energia primaria e la superficie utile dell'edificio [kWh/(m²·anno)], negli altri casi l'indice è definito dal rapporto tra la stessa domanda annua di energia ed il volume dell'edificio [kWh/(m³·anno)]. La domanda annua di energia primaria, ovvero calcolata a monte delle conversioni operate dagli impianti dell'edificio, è quella relativa alla climatizzazione invernale, alla climatizzazione estiva, alla produzione di acqua calda sanitaria e, con l'esclusione delle residenze utilizzate in modo continuativo, all'illuminazione artificiale. L'attestato di certificazione energetica, confronta la prestazione energetica globale dell'edificio con una serie di classi di riferimento. La certificazione ha lo scopo di fornire informazioni che concorrono alla valutazione dell'immobile al momento della compravendita o della locazione, e che possono essere utilizzate per valutare la convenienza economica di interventi di riqualificazione energetica.

La domanda di energia termica relativa alla climatizzazione di un edificio viene stimata sulla base di un bilancio termico dell'ambiente delimitato dall'involucro edilizio, bilancio che può essere più o meno accurato. Questo bilancio termico è collegato ad un più generale bilancio energetico dell'edificio che contempla anche gli altri usi finali dell'energia. Dalla domanda di energia termica dell'ambiente confinato, sulla base della valutazione dei rendimenti dei sistemi impiantistici, si risale alla domanda di energia primaria.

Per motivi pratici nella prassi progettuale corrente si utilizzano bilanci semplificati, su base mensile, che possono essere eseguiti con normali fogli di calcolo automatico. Di questo tipo è il metodo contenuto nella norma europea EN ISO 13790:2008 "*Energy performance of buildings — Calculation of energy use for space heating and cooling*" [5], attualmente in vigore, e nelle norme analoghe che l'hanno preceduta. Il metodo consente di tener conto delle variazioni temporali delle temperature interna ed esterna, dell'inerzia termica delle masse costituenti l'edificio e del regime di funzionamento dell'impianto (attenuazioni, intermittenza, interruzioni).

La legislazione italiana fa riferimento alla suddetta norma mediante delle norme UNI, che definiscono le modalità per la sua applicazione nazionale ai fini del calcolo del fabbisogno di energia primaria relativo alla climatizzazione estiva ed invernale degli edifici. Si tratta delle norme UNI/TS 11300 – 1 e la UNI/TS 11300 – 2 [6,7], la seconda tratta anche il calcolo del fabbisogno di energia primaria relativo alla produzione di acqua calda sanitaria. Per la valutazione delle prestazioni energetiche estive dell'edificio la nostra legislazione prevede anche in taluni casi, in alternativa al calcolo del fabbisogno energetico per climatizzazione, il calcolo di alcuni parametri caratterizzanti l'involucro (*), che deve essere fatto secondo la norma UNI EN ISO 13786:2008 [10]. In ogni caso la normativa italiana consente e consiglia l'uso di metodi di calcolo più dettagliati qualora si disponga dei dati climatici necessari, ovvero su base oraria anziché mensile.

Si rinvia all'utilissima sintesi aggiornata del quadro normativo nazionale eseguita dall'ANIT [11] per l'illustrazione delle verifiche da eseguire caso per caso, in funzione del tipo di edificio e del tipo di intervento da operarsi sullo stesso o sul suo impianto.

Al di là della verifica dei requisiti di legge le applicazioni possibili del metodo suggerito dalla UNI EN ISO 13790: 2008 sono le seguenti:

- 1) comparazione delle prestazioni energetiche di diverse soluzioni progettuali per uno stesso edificio,
- 2) descrizione delle prestazioni energetiche di un edificio esistente,

- 3) valutazione dell'effetto dei possibili interventi su di un edificio esistente finalizzati al risparmio energetico (calcolando la domanda di energia con e senza l'intervento in oggetto),
- 4) previsione dei futuri fabbisogni energetici su vasta scala (anche nazionale o sovranazionale), basandosi sul calcolo della domanda di energia di edifici rappresentativi dello stock edilizio esistente ed estendendo i risultati con metodi statistici,
- 5) miglioramento della trasparenza negli atti di compravendita nel caso di edifici esistenti, grazie alle informazioni sulla domanda di energia dell'edificio.

16.2 BILANCI TERMICI DEGLI EDIFICI: GENERALITÀ

Il sistema fisico confinato dalla superficie esterna dell'edificio può essere considerato un sistema termodinamico aperto, operante in regime mediamente stazionario (vedasi cap. 4 di queste dispense). Applicando ad esso il Primo Principio della Termodinamica si può scrivere la seguente equazione di bilancio energetico, in termini di potenza termica media riferita ad un generico intervallo di tempo $d\tau$:

$$\dot{Q}_{nd} + \dot{Q}_{sol} + \dot{Q}_{int} + \dot{Q}_{tr} + \dot{Q}_{ve} = C \cdot \frac{dT}{d\tau} \quad [W] \quad (1)$$

dove il significato dei termini a sinistra del segno di uguaglianza è, nell'ordine:

- \dot{Q}_{nd} potenza fornita dall'impianto all'ambiente confinato, detta anche carico termico,
- \dot{Q}_{sol} potenza fornita dalla radiazione solare,
- \dot{Q}_{int} potenza fornita dalle fonti di calore interne all'edificio (persone, lampade, macchine, ...),
- \dot{Q}_{tr} potenza uscente trasmessa attraverso l'involucro edilizio,
- \dot{Q}_{ve} potenza uscente veicolata dal flusso d'aria di ventilazione.

Il termine al secondo membro rappresenta la variazione di energia interna del sistema nel tempo, che si può esprimere come il prodotto della capacità termica efficace dell'edificio C per la variazione della sua temperatura media nell'intervallo di tempo considerato. Per capacità efficace si intende la capacità termica di quella parte della massa dell'edificio che effettivamente immagazzina e/o restituisce energia termica nell'intervallo di tempo considerato.

Le dispersioni termiche che compaiono nell'equazione di bilancio (1) possono essere espresse in funzione della differenza di temperatura tra interno ed esterno (vedi cap. 14).

Pertanto se si fissa la temperatura interna t_i pari ad un valore desiderato, può essere calcolato il termine relativo alla potenza dell'impianto \dot{Q}_{nd} . È possibile così individuare la potenza termica che l'impianto deve fornire per mantenere costante tale temperatura nel locale in corrispondenza di una data temperatura esterna t_e .

Nel caso invernale, esplicitando i termini \dot{Q}_{ve} e \dot{Q}_{tr} , e tenendo conto dei segni dei vari termini, si può scrivere (la simbologia è quella utilizzata nel capitolo 14):

$$\dot{Q}_{nd} = G_{ve} \cdot c_{pa} \cdot (t_i - t_e) + \sum_{j=1}^n U_j \cdot A_j \cdot (t_i - t_e) + \sum_{j=1}^p \Psi_{L,j} \cdot L_j \cdot (t_i - t_e) - \dot{Q}_{int} - \dot{Q}_{sol} + C \cdot \frac{dT}{d\tau} \quad [W]$$

avendo posto, in base al primo principio per i sistemi aperti, e limitandoci al flusso termico sensibile (vedi cap. 4 e successivo par. 16.4.9):

$$\dot{Q}_{ve} = G_{ve} \cdot (h_i - h_e) = G_{ve} \cdot c_{pa} \cdot (t_i - t_e)$$

Dove G_{ve} è la portata massica [kg/s] d'aria di ventilazione e c_{pa} è il calore specifico dell'aria [J/kg]. Si noti che: ai fini del calcolo di \dot{Q}_{tr} la temperatura interna dovrebbe essere la temperatura operante dell'ambiente confinato (il coefficiente di adduzione interno tiene conto infatti sia degli scambi radiativi con altre superfici interne che di quello convettivo con l'aria), mentre ai fini del calcolo di \dot{Q}_{ve} essa dovrebbe essere la temperatura dell'aria interna. Nei normali ambienti abitativi si può tuttavia assumere che non vi sia una rilevante differenza tra le due.

La norma attualmente in vigore, UNI/TS 11300 – 1 [6], definisce come **temperatura interna** da considerare la “Media aritmetica della temperatura dell'aria e della temperatura media radiante al centro della zona considerata”, e questa altro non è che la definizione semplificata della temperatura operante.

L'energia primaria dE consumata dal generatore di calore in ogni intervallo di tempo $d\tau$ è pari a quella fornita agli ambienti serviti divisa per il rendimento globale, η_g , del sistema di combustione-regolazione-trasporto-erogazione del calore.

Nel caso ad esempio invernale, tenuto conto della (1) e dei segni dei vari termini, si può scrivere:

$$dE = \frac{\dot{Q}_{nd}}{\eta_g} \cdot d\tau = \frac{\dot{Q}_{tr} + \dot{Q}_{ve} - \dot{Q}_{sol} - \dot{Q}_{int} + C \cdot (dT/d\tau)}{\eta_g} \cdot d\tau \quad [J] \quad (2)$$

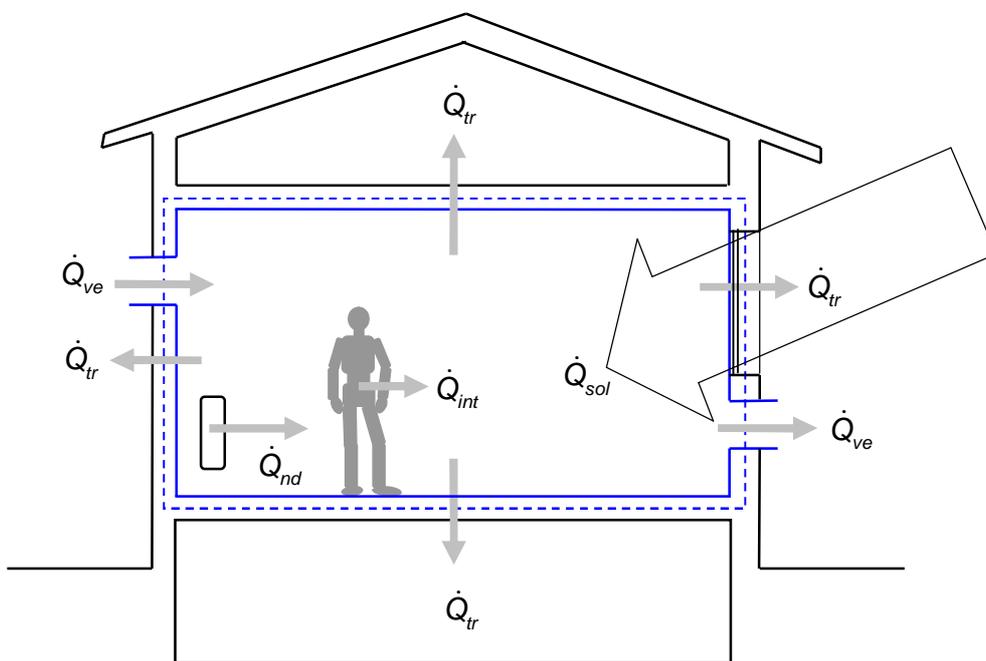


Fig. 1. I principali termini del bilancio energetico dell'edificio. La linea continua blu indica schematicamente i confini del sistema aperto da considerare ai fini delle dispersioni da ventilazione, il cui volume di controllo contiene il volume dell'aria interna (le sezioni di ingresso ed uscita sono simboliche). La linea blu tratteggiata indica i confini fisici della zona termica, comprendente anche le masse che concorrono alla sua capacità termica efficace.

Un bilancio termico dettagliato richiede la definizione di intervalli temporali sufficientemente piccoli (orari o sub-orari) e la scomposizione dell'edificio in parti omogenee per proprietà termofisiche (materiali) e condizioni al contorno (quali l'irraggiamento solare), parti di dimensioni più o meno grandi a seconda del grado di dettaglio richiesto. Per ognuna delle parti va scritta un'equazione di bilancio termico in cui compaiono i flussi scambiati in vario modo con le altre parti e la variazione di energia interna della parte cui è riferita l'equazione. L'insieme di queste equazioni costituisce un sistema, la cui soluzione fornisce i valori delle temperature e dei flussi termici non noti. Tra i flussi non noti è compreso quello che l'impianto deve fornire all'ambiente confinato (\dot{Q}_{nd}) per mantenere la temperatura interna desiderata. Il calcolo va ripetuto per ogni intervallo temporale in cui è stato scomposto il periodo di studio (giorno, mese, stagione, anno).

È evidente la difficoltà di procedere con simili metodi nella prassi progettuale corrente, anche perché è difficile disporre in ogni località di dati orari relativi alle grandezze climatiche necessarie al calcolo: temperatura esterna ed irraggiamento solare in particolare. Sono invece resi disponibili dalla UNI 10349: 1994, relativamente a tutti i capoluoghi di provincia italiani, i valori medi mensili dei parametri climatici [13].

Per questi motivi si preferisce far ricorso a metodi di calcolo semplificati, con i quali si prende in esame l'intero edificio o una zona di esso (**zona termica**), di dimensioni non inferiori al vano, omogenea per temperatura interna e condizioni al contorno e servita da uno stesso impianto. Il calcolo è riferito ad un periodo relativamente lungo: mensile o stagionale.

Le principali ipotesi semplificative, su cui sono basati questi metodi, sono le seguenti:

- stazionarietà degli scambi termici all'interno del periodo di calcolo, questa ipotesi consente di assumere valori costanti delle temperature (i valori medi nel periodo), purché si tenga conto in qualche modo degli effetti delle variazioni di energia interna delle masse,
- monodimensionalità dei flussi termici attraverso gli elementi di involucro edilizio, con conseguente trattamento semplificato dei ponti termici,
- assunzione dei valori medi stagionali o mensili delle grandezze climatiche,
- valutazione semplificata dei contributi dei guadagni termici interni e di origine solare.

Il metodo di calcolo previsto dall'attuale normativa italiana è su base mensile. Le varie voci del bilancio energetico dell'edificio, dispersioni Q_{ls} e guadagni termici Q_{gn} e fabbisogni Q_{nd} , vengono calcolate in termini di energia mensile (MJ). Sempre relativamente ad ogni mese la domanda di energia per climatizzazione ($Q_{H,nd}$ in Inverno e $Q_{C,nd}$ in Estate) dell'edificio o dello spazio servito dall'impianto, è calcolata in base ad un'equazione di bilancio diversa a seconda che ci si trovi nella stagione di riscaldamento o di raffreddamento.

Nella stagione di riscaldamento:

$$Q_{H,nd} = Q_{ls} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{gn} \quad [\text{MJ}] \quad (3)$$

nella stagione di raffreddamento:

$$Q_{C,nd} = Q_{gn} - \eta_{C,ls} \cdot Q_{ls} \quad [\text{MJ}] \quad (4)$$

Si può notare che in queste equazioni non compare esplicitamente un termine che rappresenti l'energia termica accumulata dalle masse dell'edificio, ma dei fenomeni di accumulo e restituzione di calore si tiene conto attraverso i coefficienti di utilizzazione degli apporti termici ($\eta_{H,gn}$) e delle dispersioni termiche ($\eta_{C,ls}$). Come si vedrà nel seguito (nel par. 16.6) questi coefficienti sono direttamente proporzionali alla capacità termica C efficace ed ai guadagni, mentre sono inversamente proporzionali al coefficiente globale di scambio termico H , dunque alle dispersioni.

Nel primo caso il coefficiente di utilizzazione esprime la capacità dell'edificio di utilizzare il calore accumulato nelle masse per contribuire alla copertura del carico termico.

In una dato clima l'inerzia termica delle masse può contribuire a diminuire il fabbisogno di energia dell'ambiente confinato, in quanto: nel periodo freddo riduce la possibilità che i guadagni termici, in particolare quelli solari (che intervengono nelle ore centrali più calde), elevino la t_i oltre il valore di set-point (surriscaldamento), consentendo inoltre di utilizzare successivamente l'energia termica accumulata nelle ore più fredde, quando maggiori sono le dispersioni.

Quando si verifica il surriscaldamento la conseguente dispersione termica addizionale è conteggiata attraverso il fattore di utilizzazione che riduce i guadagni stessi.

Nel periodo caldo invece la dispersione dell'energia accumulata nelle masse, che può avvenire nelle ore notturne più fresche, ed il conseguente raffreddamento delle masse stesse, può contribuire a contenere i carichi da raffreddamento nelle ore più calde. Inoltre nelle ore in cui le superfici esterne sono esposte alla radiazione solare l'inerzia termica degli elementi di involucro ritarda la trasmissione di calore dall'esterno all'interno.

Un calcolo del carico dell'impianto termico \dot{Q}_{nd} , eseguito in base alla "temperatura esterna di progetto" (t_e) e senza tener conto dei guadagni termici, è utilizzabile per un primo dimensionamento del generatore di calore, tenendo conto anche in questo caso del rendimento totale dell'impianto.

Il corretto dimensionamento consente di ottenere elevati valori del rendimento globale medio stagionale dell'impianto, sul quale esistono limiti di legge [1,2].

$$\dot{Q}_{H,nd} = \dot{Q}_{tr} + \dot{Q}_{ve} = \sum_{j=1}^n U_j \cdot A_j \cdot (t_i - t_e) + \sum_{j=1}^p \Psi_{L,j} \cdot L_j \cdot (t_i - t_e) + G_{ve} \cdot c_{pa} \cdot (t_i - t_e) \quad (5)$$

La temperatura esterna di progetto, fissata per ogni località dal DPR n. 1052/77, è un valore al di sotto della quale la temperatura dell'aria esterna può scendere con un certo grado di probabilità nel periodo invernale.

16.3 LA NORMATIVA ITALIANA

Secondo le "linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici" [4] gli edifici vengono classificati in base ad un indice di prestazione energetica globale (EPgl) così definito:

$$EPgl = EPi + EPacs + EPe + EPill \quad [kWh/(m^2 \cdot anno)] \quad (6)$$

Dove:

- EPi = indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale,
- EPe = indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva,
- EPacs = indice di prestazione energetica per la produzione di acqua calda sanitaria,
- EPill = indice di prestazione energetica per illuminazione artificiale.

Sono definite le varie classi in cui può rientrare questo indice, ognuna individuata da una lettera dalla A alla G. La classe di un edificio va riportata in un apposito attestato di certificazione energetica. Oltre all'EPgl devono essere specificati in esso il fabbisogno energetico dell'involucro, vale a dire l'energia che l'impianto deve fornire all'ambiente (confinato) interno all'edificio, ed il rendimento medio stagionale dell'impianto.

La certificazione energetica si applica agli edifici di tutte le categorie stabilite dall'Art. 3 del DPR 26.08.1993 n. 412 in funzione della destinazione d'uso. Nel caso degli edifici residenziali, categoria E.1(1): edificio residenziale con occupazione continuativa, tutti i sopraelencati indici sono espressi in kWh/(m²·anno), in tutti gli altri casi, ivi comprese le residenze collettive tipo: conventi, collegi, caserme e prigioni, in kWh/(m³·anno). Il calcolo di EPill è obbligatorio per tutte le categorie di edifici, solo per la categoria E.1 lo è limitatamente a collegi, conventi, case di pena e caserme.

Ai fini delle linee guida sono considerati infatti edifici residenziali gli edifici classificati E.1, con l'esclusione di collegi, conventi, case di pena e caserme.

Va detto che al momento, in fase di avvio della normativa, fra gli indici sopra riportati è richiesto solo il calcolo di EPi ed EPacs, pertanto in questa fase si assume:

$$EPgl = EPi + Epacs$$

Attualmente nel caso di edifici di nuova costruzione, di interventi di totale ristrutturazione degli elementi edilizi di involucro o demolizione e ricostruzione di edifici con superficie utile > 1000 m² ed ampliamenti di entità superiore al 20% della volumetria esistente è richiesto il calcolo di EPi ed il confronto con i suoi valori limite (riportati al punto 1 dell'allegato C del DPR 192/05) nonché il calcolo dell'indice EPe,invol ed il suo confronto con i valori limite introdotti dal DPR 59/09 [3].

L'indice EPe,invol è definito come il rapporto tra il fabbisogno energetico per raffrescamento, del volume confinato dall'involucro edilizio, e la superficie calpestabile dello stesso (espresso in kWh/(m²-anno)), pertanto non si tratta di energia primaria fornita all'impianto ma di energia fornita dall'impianto all'edificio, non tiene conto dei rendimenti impiantistici.

Sempre per tutte le categorie di edifici nel caso di interventi di ristrutturazione non integrale, quali manutenzione straordinaria di elementi di involucro, o nel caso la superficie utile sia inferiore a 1000 m², anziché il calcolo di EPi di EPe,invol e le relative verifiche, è richiesta la verifica del rispetto dei limiti per i valori della trasmittanza di tutti gli elementi di involucro (riportati al punto 2 dell'allegato C del DPR 192/05).

Nel caso di edifici residenziali esistenti con superficie utile fino a 1000 m² è possibile valutare le prestazioni energetiche estive, anziché mediante il calcolo di (EPe), mediante il calcolo di indici qualitativi quali lo sfasamento ed il fattore di attenuazione, il primo è definito come il ritardo temporale tra il picco del flusso termico entrante nell'ambiente interno ed il picco della temperatura interna (espresso in ore), il secondo come il rapporto (adimensionale) tra la trasmittanza termica dinamica (o periodica) e la trasmittanza termica stazionaria. Il riferimento per il calcolo di tali indici è la norma UNI EN ISO 13786:2008 [10]. Nel caso i due indici non rientrino nella stessa classe si considera solo lo sfasamento [4]. In tutti gli altri casi va calcolato l'indice EPe,invol direttamente in base alle citate norme o mediante il metodo DOCET.

L'indicazione della qualità termica estiva è poi facoltativa nel caso di unità immobiliari (vedi successiva definizione) con superficie minore di 200 m².

Per tutti gli edifici, nel caso di nuova installazione/ristrutturazione degli impianti termici o sola sostituzione dei generatori di calore, va calcolato il rendimento globale medio stagionale dell'impianto termico e va verificato che il suo valore sia superiore al valore limite (stabilito al punto 5 dell'allegato C del DPR 192). Se la potenza del generatore è superiore ai 100 kW va eseguita anche una diagnosi energetica del sistema edificio-impianto che individui i possibili interventi di razionalizzazione.

La certificazione energetica viene eseguita da soggetti riconosciuti su richiesta del costruttore o del proprietario o del detentore dell'immobile, ha una validità massima di 10 anni e va in ogni caso aggiornata ogniqualvolta venga eseguito un intervento sul sistema edificio-impianto che ne modifichi le prestazioni.

È prevista anche un'attestazione di qualificazione energetica, che può essere redatta da un tecnico abilitato non necessariamente estraneo alla proprietà, alla realizzazione od alla progettazione dell'immobile. Essa è obbligatoria nel caso di nuova costruzione o ristrutturazione totale ma è diversa dall'attestato di certificazione energetica, che deve essere redatto da soggetti al di sopra delle parti, essa può solo proporre una classe di efficienza energetica per l'edificio in questione.

La [5], come la [6], prevede tre diversi tipi di valutazione energetica, classificati come segue.

Tipo di valutazione	Dati di ingresso			Scopo della valutazione
	Uso	Clima	Edificio	
di Progetto (<i>Design rating</i>)	Standard	Standard	Progettato	Permesso di costruire Certificazione o Qualificazione energetica del progetto
Standard (<i>Asset rating</i>)	Standard	Standard	Realizzato	Certificazione o Qualificazione Energetica
Adattata all'utenza (<i>Tailored rating</i>)	In funzione dello scopo		Realizzato	Ottimizzazione, Validazione, Diagnosi e programmazione di interventi di riqualificazione

Le linee guida prevedono invece solo i primi due tipi di valutazione dei tre sopra elencati:

- 1) il "metodo calcolato di progetto", basato sui dati di progetto e da impiegarsi nel caso di edifici di nuova costruzione o totalmente ristrutturati, indipendentemente dalle loro dimensioni,
- 2) il metodo di calcolo da rilievo su edificio o "standard", che riguarda gli edifici esistenti e si avvale di dati ricavati da indagini sull'edificio, quali:
 - i) rilievi con uso di misure strumentali,
 - ii) analogia con altri edifici (anche con utilizzo di banche dati),
 - iii) sulla base dei principali dati climatici, tipologici, geometrici ed impiantistici.

Il metodo di cui al punto 1) fa riferimento alle norme nazionali UNI/TS 11300 – 1 e UNI/TS 11300 – 2 [6,7], la prima definisce il metodo di calcolo del fabbisogno energetico (FE) dell'involucro edilizio per il riscaldamento ed il raffrescamento, la seconda a partire da questo FE permette di calcolare la prestazione del sistema edificio-impianto in relazione allo specifico impianto termico installato, ma solo nel caso della climatizzazione invernale e della produzione di acqua calda sanitaria (EPi + EPacs). Il foglio di calcolo per l'applicazione di tali norme è reperibile presso il sito del Comitato Termotecnico Italiano (CTI).

I metodi di cui al punto 2) possono avere vari gradi di approfondimento. Nel caso i), ci si riferisce alle semplificazioni contenute nelle stesse due norme ora citate e riguardanti gli edifici esistenti senza limiti dimensionali: metodi tabellari che forniscono dati descrittivi dell'edificio (trasmittanze) e degli impianti in funzione della tipologia e dell'anno di costruzione (Appendici A, B e C di UNI/TS 11300–1), sempre per il calcolo di EPi ed EPacs.

La metodologia di cui al punto 2ii) è applicabile agli edifici residenziali esistenti con superficie utile fino a 3000 m², consente il calcolo degli indici di prestazione energetica dell'edificio per la climatizzazione invernale (EPi) e per la produzione dell'acqua calda sanitaria (EPacs), mediante il metodo di calcolo DOCET, predisposto da CNR ed ENEA, sulla base delle norme tecniche di cui al punto 1), il cui software applicativo è disponibile sui siti internet del CNR e dell'ENEA.

La metodologia di cui al punto 2iii), sempre per il calcolo dell'indice di prestazione energetica dell'edificio per la climatizzazione invernale (EPi), utilizza come riferimento il metodo semplificato di cui all'allegato 2 delle Linee Guida (qui riportato in Appendice n. 1), mentre per il calcolo dell'indice energetico per la produzione dell'acqua calda sanitaria (EPacs) alle norme UNI/TS 11300 per la parte semplificata relativa agli edifici esistenti. Questa procedura è applicabile agli edifici residenziali esistenti con superficie utile fino a 1000 m².

16.4 IL METODO DI CALCOLO DEI FABBISOGNI DI ENERGIA TERMICA PER CLIMATIZZAZIONE DELLA UNI EN ISO 13790: 2008, come adattato dalla UNI/TS 11300-1

16.4.1 TERMINI E DEFINIZIONI

Edificio. Sistema costituito dalle strutture edilizie esterne che delimitano uno spazio di volume definito, dalle strutture interne che ripartiscono detto volume e da tutti gli impianti e dispositivi tecnologici che si trovano stabilmente al suo interno. La superficie esterna che delimita un edificio può confinare con tutti o alcuni di questi elementi: l'ambiente esterno, il terreno, altri edifici. Il termine può riferirsi a un intero edificio ovvero a parti di edificio progettate o ristrutturate per essere utilizzate come unità immobiliari a sé stanti.

Unità immobiliare (UI). Si definisce così l'insieme di uno o più locali costituenti un appartamento autonomo e destinato ad alloggio, situato dentro un edificio che contiene almeno due UI. È considerata UI anche l'unità commerciale o artigianale o direzionale appartenente ad un edificio con le suddette caratteristiche.

Ambiente climatizzato. Vano o spazio confinato che, ai fini del calcolo, è considerato riscaldato o raffrescato a determinate temperature di regolazione.

Area climatizzata. Area del pavimento degli ambienti climatizzati, comprendente la superficie di tutti i piani se più di uno, esclusi i piani interrati o altri ambienti non abitabili. Ai fini del calcolo degli apporti termici interni, è intesa al netto delle pareti perimetrali e di tutti i divisori verticali.

Zona termica (ZT). Parte dell'ambiente climatizzato mantenuto ad una data temperatura uniforme (di set-point) attraverso lo stesso impianto di riscaldamento, raffrescamento o ventilazione. All'interno di essa si assume che le variazioni della temperatura nello spazio siano trascurabili.

Fabbisogno di energia termica (utile). Quantità di calore che deve essere fornita o sottratta ad un ambiente climatizzato per mantenere le condizioni di temperatura desiderate durante un dato periodo di tempo.

Fabbisogno ideale di energia termica (utile). Fabbisogno di energia termica riferito a condizioni di temperatura dell'aria uniforme in tutto l'ambiente climatizzato.

Prestazione energetica di un edificio (EPgl). Quantità annua di energia primaria effettivamente consumata o che si prevede possa essere necessaria per soddisfare i vari bisogni connessi ad un uso standard dell'edificio: la climatizzazione invernale, la climatizzazione estiva, la preparazione dell'acqua calda per usi igienici sanitari, la ventilazione e l'illuminazione.

Certificazione energetica. Procedura che permette di produrre un'attestazione della prestazione energetica dell'edificio mediante uno o più descrittori di fabbisogno energetico calcolati secondo metodologie normalizzate.

Il **periodo di calcolo** è il mese.

Stagione di riscaldamento. Periodo dell'anno durante il quale vi è una richiesta significativa di energia per il riscaldamento ambientale, la cui durata è attualmente definita dal DPR n.412/1993 in funzione della zona climatica.

Stagione di raffrescamento. Periodo dell'anno durante il quale vi è una richiesta significativa di energia per il raffrescamento ambientale.

La **temperatura esterna (t_e)** è la temperatura dell'aria esterna, ed è assunta uguale alla temperatura media radiante dell'ambiente esterno (valore medio nel periodo considerato).

La **temperatura interna (t_i)** è la temperatura operante interna, calcolata nel modo semplificato come media aritmetica tra i valori della temperatura dell'aria e della temperatura media radiante al centro della zona considerata. È un'approssimazione della temperatura operante definita dalla UNI EN ISO 7726 e della temperatura risultante secca definita dalla UNI EN ISO 6946.

La **temperatura interna di regolazione o di set-point (t_{sp})** temperatura interna minima fissata dal sistema di regolazione dell'impianto di riscaldamento e temperatura interna massima fissata dal sistema di regolazione dell'impianto di raffrescamento ai fini dei calcoli di fabbisogno energetico.

16.4.2 LA PROCEDURA DI CALCOLO: SCHEMA.

Le norme italiane UNI/TS 11300-1 e UNI/TS 11300-2 definiscono le modalità per l'applicazione nazionale della UNI EN ISO 13790:2008. In particolare la UNI/TS 11300-1 definisce il metodo per il calcolo su base mensile dei fabbisogni di energia termica per riscaldamento ($Q_{H,nd}$) e per raffrescamento ($Q_{C,nd}$).

La norma è rivolta a tutte le possibili applicazioni previste dalla UNI EN ISO 13790:2008: calcolo di progetto (*design rating*), valutazione energetica di edifici attraverso il calcolo in condizioni standard (*asset rating*) o in particolari condizioni climatiche e d'esercizio (*tailored rating*), quest'ultima è la valutazione cosiddetta: "adattata all'utenza".

La UNI/TS 11300-2 invece definisce le modalità di calcolo del fabbisogno di energia primaria (EP) del sistema edificio-impianto a partire dal fabbisogno di energia termica per la climatizzazione invernale e la produzione di acqua calda sanitaria, passando attraverso il calcolo dei rendimenti dell'impianto termico installato.

Il metodo proposto dalla norma UNI EN ISO 13790: 2008 prevede i seguenti passi:

- definizione dei confini dell'insieme degli ambienti climatizzati e non climatizzati dell'edificio;
- definizione dei confini delle diverse zone termiche (ZT), se richiesta; tali confini sono costituiti da tutti gli elementi edilizi che separano lo spazio riscaldato dall'ambiente esterno o dalle altre zone adiacenti, non riscaldate o caratterizzate da una diversa temperatura di set point o da un diverso regime di riscaldamento,
- definizione delle condizioni interne di calcolo e dei dati di ingresso relativi al clima esterno;
- calcolo, per ogni mese e per ogni zona dell'edificio, dei fabbisogni di energia termica per il riscaldamento ($Q_{H,nd}$) e il raffrescamento ($Q_{C,nd}$);
- aggregazione dei risultati relativi ai diversi mesi ed alle diverse zone servite dagli stessi impianti.

Al punto d) della procedura i fabbisogni di energia termica per riscaldamento e raffrescamento si calcolano, per ogni zona termica (ZT) dell'edificio e per ogni mese, mediante un bilancio di energia termica dello spazio confinato (climatizzato) impostato come segue,

nella stagione di riscaldamento:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{gn} = (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn} \cdot (Q_{int} + Q_{sol}) \quad [MJ] \quad (7)$$

nella stagione di raffreddamento:

$$Q_{C,nd} = Q_{gn} - \eta_{C,ls} \cdot Q_{C,ht} = (Q_{int} + Q_{sol}) - \eta_{C,ls} \cdot (Q_{C,tr} + Q_{C,ve}) \quad [MJ] \quad (8)$$

si tratta di un bilancio che considera solo il calore sensibile, in esso compaiono i seguenti termini, che rappresentano quantità di energia [MJ] riferite al periodo di calcolo, le modalità per il loro calcolo sono descritte nei successivi paragrafi:

- $Q_{H,nd}$ è il fabbisogno ideale di energia termica dell'edificio per riscaldamento;
- $Q_{C,nd}$ è il fabbisogno ideale di energia termica dell'edificio per raffrescamento;

- $Q_{H,ht}$ è lo scambio termico totale tra ambiente confinato ed esterno nel caso di riscaldamento;
- $Q_{C,ht}$ è lo scambio termico totale tra ambiente confinato ed esterno nel caso di raffrescamento;
- $Q_{H,tr}$ è lo scambio termico per trasmissione nel periodo di riscaldamento;
- $Q_{C,tr}$ è lo scambio termico per trasmissione nel periodo di raffrescamento;
- $Q_{H,ve}$ è lo scambio termico per ventilazione nel periodo di riscaldamento;
- $Q_{C,ve}$ è lo scambio termico per ventilazione nel periodo di raffrescamento;
- Q_{gn} sono i guadagni termici totali;
- Q_{int} sono i guadagni termici interni;
- Q_{sol} sono i guadagni termici solari;
- $\eta_{H,gn}$ è il fattore di utilizzazione degli apporti termici;
- $\eta_{C,ls}$ è il fattore di utilizzazione delle dispersioni termiche

L'edificio può avere più zone con diverse temperature di set-point, e l'impianto di climatizzazione può funzionare in modo intermittente (nel caso di valutazione adattata all'utenza). Dunque, per ogni periodo di calcolo (mese) e per ogni ZT, vanno calcolati i termini delle equazioni sopra riportate.

La norma non contempla il calcolo dei fabbisogni di energia in forma latente (umidificazione/deumidificazione dell'aria), essendo questa materia delle norme riguardanti l'efficienza dei sistemi di climatizzazione (UNI EN 15316, UNI EN 15241, UNI EN 15243).

A scopo puramente didattico nella presente dispensa viene fatto riferimento (tra parentesi) alla terminologia inglese usata nella norma [5], mentre per uniformità con le altre dispense del corso la simbologia è stata modificata, in particolare per quanto riguarda la temperatura ed il tempo, qui rispettivamente indicate con t e τ .

16.4.3 LA PROCEDURA DI CALCOLO: I DATI DI INGRESSO.

Sono necessari i seguenti dati di ingresso.

Dati relativi alle caratteristiche tipologiche dell'edificio:

- volume lordo dell'ambiente climatizzato (V_l);
- volume interno (o netto) dell'ambiente climatizzato (V_i);
- superficie utile (o netta calpestabile) dell'ambiente climatizzato (A_{pav});
- superfici dei componenti dell'involucro e della struttura edilizia (A);
- tipologie e dimensioni dei ponti termici (I);
- orientamenti di tutti i componenti dell'involucro edilizio;
- caratteristiche geometriche di tutti elementi esterni (altri edifici, aggetti, ecc.) che ombreggiano i componenti trasparenti dell'involucro edilizio.

Dati relativi alle caratteristiche termiche e costruttive dell'edificio:

- trasmittanze termiche dei componenti dell'involucro edilizio (U), per le finestre dotate di chiusure oscuranti, occorre conoscere i valori della trasmittanza termica nelle due configurazioni: con chiusura oscurante aperta e con chiusura oscurante chiusa;
- capacità termiche areiche dei componenti della struttura dell'edificio (κ), questo dato può essere omesso nei casi in cui è consentita una valutazione semplificata della capacità termica interna;
- trasmittanze di energia solare totale dei componenti trasparenti dell'involucro edilizio (g_{gl});
- fattori di assorbimento solare delle facce esterne dei componenti opachi dell'involucro edilizio ($\alpha_{sol,c}$);

- emissività delle facce esterne dei componenti dell'involucro edilizio (ϵ);
- fattori di riduzione della trasmittanza di energia solare totale dei componenti trasparenti dell'involucro edilizio in presenza di schermature mobili (F_{sh});
- fattori di riduzione dovuti al telaio dei componenti trasparenti dell'involucro edilizio ($1 - F_F$);
- coefficienti di trasmissione lineare dei ponti termici (ψ), questo dato può essere omesso nei casi in cui è consentita una valutazione forfetaria delle dispersioni attraverso i ponti termici (vedere punto 11.1.3).

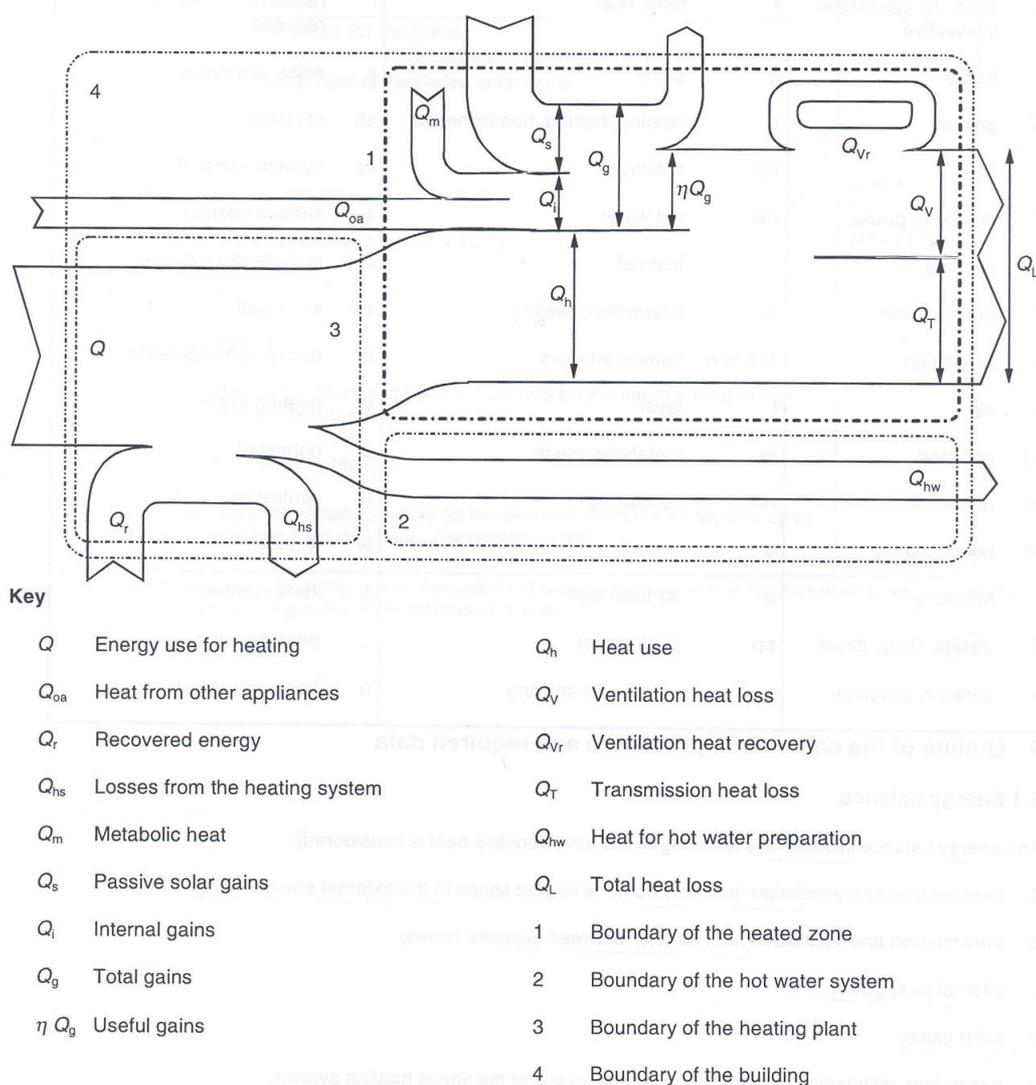


Fig. 2. Visualizzazione dei principali termini del bilancio energetico dell'edificio, fonte: UNI EN ISO 13790: 2005. NB. La simbologia è diversa da quella utilizzata in questa dispensa.

Dati climatici:

- valori medi mensili delle temperature esterne (t_e) [$^{\circ}\text{C}$];
- irradianza solare totale media mensile sul piano orizzontale ($I_{sol,h}$) [W/m^2];
- irradianza solare totale media mensile per ciascun orientamento (I_{sol}) [W/m^2].

I dati climatici devono essere conformi a quanto riportato nella UNI 10349:1994 [13].

I valori di irradianza solare totale media mensile sono ricavati dai valori di irraggiamento solare giornaliero medio mensile (o irradiazione) forniti dalla UNI 10349 (in $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{giorno})$), dunque dividendo il valore fornito dalla norma per 24 ore e per 3,6.

I valori di temperatura esterna media giornaliera sono forniti per ogni mese dalla UNI 10349.

Per orientamenti intermedi tra quelli riportati nella norma si deve procedere per interpolazione lineare.

Dati relativi alle modalità di occupazione e di utilizzo dell'edificio:

I dati relativi all'utenza comprendono:

- temperatura interna di regolazione per il riscaldamento ($t_{int,set,H}$);
- temperatura interna di regolazione per il raffrescamento ($t_{int,set,C}$);
- numero di ricambi d'aria (n);
- tipo di ventilazione (aerazione, ventilazione naturale, ventilazione artificiale);
- tipo di regolazione della portata di ventilazione (costante, variabile);
- durata del periodo di raffrescamento (N_C);
- durata del periodo di riscaldamento (N_H);
- regime di funzionamento dell'impianto di climatizzazione;
- modalità di gestione delle chiusure oscuranti;
- modalità di gestione delle schermature mobili;
- apporti di calore interni (Q_{int}).

Nella valutazione di progetto o nella valutazioni standard, i dati relativi alle modalità di occupazione e di utilizzo dell'edificio si riferiscono ad un'utenza convenzionale.

16.4.4 ZONIZZAZIONE E ACCOPPIAMENTO TERMICO TRA ZONE

Va individuato il sistema edificio-impianto da esaminare, che è costituito da uno o più edifici (involucri edilizi) o da porzioni di edificio, climatizzati attraverso un unico sistema impiantistico.

Il volume climatizzato comprende gli spazi che si considerano riscaldati e/o raffrescati a date temperature di regolazione.

In linea generale ogni porzione di edificio, climatizzata ad una determinata temperatura con identiche modalità di regolazione, costituisce una zona termica (ZT). Le diverse unità immobiliari servite da un unico impianto, aventi proprie caratteristiche di dispersione ed esposizione, possono costituire diverse zone termiche.

La zonizzazione non è richiesta se si verificano le seguenti condizioni:

- a) le temperature interne di regolazione per il riscaldamento differiscono di non oltre 4 K;
- b) gli ambienti non sono raffrescati o comunque le temperature interne di regolazione per il raffrescamento differiscono di non oltre 4 K;
- c) gli ambienti sono serviti dallo stesso impianto di riscaldamento;
- d) se vi è un impianto di ventilazione meccanica, almeno l'80% dell'area climatizzata è servita dallo stesso impianto di ventilazione con tassi di ventilazione nei diversi ambienti che non differiscono di un fattore maggiore di 4.

È possibile che la zonizzazione relativa al riscaldamento differisca da quella relativa al raffrescamento.

Per definire i confini del volume lordo climatizzato si considerano le dimensioni esterne dell'involucro mentre, per definire i confini tra le zone termiche, si utilizzano le superfici di mezzeria degli elementi divisorii. Dunque i confini delle ZT comprendono le masse degli elementi edilizi la cui capacità termica interviene nel calcolo mediante la costante di tempo dell'edificio, che interviene a sua volta nel calcolo dei coefficienti di utilizzazione degli apporti $\eta_{H,gn}$ e delle dispersioni $\eta_{C,ls}$.

16.4.5 TEMPERATURA INTERNA DA ADOTTARE

Vanno distinti i seguenti casi.

A. Valutazione di progetto o standard. Climatizzazione invernale.

In riferimento alle categorie di edifici stabilite all'art. 3 del DPR n. 412/93 [12], vedasi tabella riportata al successivo punto A del paragrafo 16.4.11, per tutte le categorie di edifici ad esclusione delle categorie E.6(1), piscine, saune e assimilabili, E.6(2), palestre e assimilabili, ed E.8, edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali e assimilabili si assume una temperatura interna costante pari a 20 °C.

Per gli edifici di categoria E.6(1) si assume una temperatura interna costante pari a 28 °C

Per gli edifici di categoria E.6(2) e E.8 si assume una temperatura interna costante pari a 18 °C.

Per gli edifici confinanti, in condizioni standard di calcolo, si assume:

- temperatura pari a 20 °C per edifici confinanti riscaldati e appartamenti vicini normalmente abitati;
- temperatura conforme alla UNI EN 12831 per appartamenti confinanti in edifici che non sono normalmente abitati (per esempio case vacanze);
- temperatura conforme all'appendice A della UNI EN ISO 13789:2008, per edifici o ambienti confinanti non riscaldati (magazzini, autorimesse, scantinati, vano scale, ecc.). In base ad essa la temperatura media mensile dei locali non riscaldati t_u può essere determinata dalla seguente formula:

$$t_u = \frac{\Phi_{gn} + t_i \cdot H_{iu} + t_e \cdot H_{ue}}{H_{ue} + H_{iu}} \quad (9)$$

dove:

- Φ_{gn} è il flusso termico generato all'interno dell'ambiente non riscaldato, in W;
- t_e è la temperatura esterna media mensile, in °C;
- t_i è la temperatura interna di progetto dell'ambiente riscaldato, in °C;
- H_{iu} è il coefficiente globale di scambio termico tra l'ambiente riscaldato e l'ambiente non riscaldato, in W/K;
- H_{ue} è il coefficiente globale di scambio termico tra l'ambiente riscaldato e l'ambiente esterno, in W/K.

B. Valutazione di progetto o standard. Climatizzazione estiva.

Per tutte le categorie di edifici (9) ad esclusione delle categorie E.6(1) e E.6(2) si assume una temperatura interna costante pari a 26 °C.

Per gli edifici di categoria E.6(1) si assume una temperatura interna costante pari a 28 °C.

Per gli edifici di categoria E.6(2) si assume una temperatura interna costante pari a 24 °C.

La temperatura interna degli edifici adiacenti è fissata convenzionalmente pari a 26 °C.

C. Valutazione adattata all'utenza

Per calcoli aventi scopi differenti da quello standard la temperatura interna può essere considerata costante per l'intero periodo di funzionamento oppure può essere specificata e giustificata una variazione di tale parametro in relazione ai profili di utilizzo dell'edificio.

16.4.6 DURATA DELLA STAGIONE DI RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO

A. Valutazione di progetto o standard. Climatizzazione invernale.

La durata della stagione di calcolo è determinata in funzione della zona climatica, secondo il seguente prospetto.

Durata della stagione di riscaldamento in funzione della zona climatica

Zona climatica	Inizio	Fine
A	1° dicembre	15 marzo
B	1° dicembre	31 marzo
C	15 novembre	31 marzo
D	1° novembre	15 aprile
E	15 ottobre	15 aprile
F	5 ottobre	22 aprile

B. Valutazione adattata all'utenza. Climatizzazione invernale.

Nel caso di diagnosi energetiche o previsione dei consumi può essere adottata la stagione di riscaldamento reale ovvero il periodo durante il quale è necessario fornire calore attraverso l'impianto di riscaldamento per mantenere all'interno dell'edificio una temperatura interna non inferiore a quella di progetto.

Il primo e l'ultimo giorno del periodo di riscaldamento reale vengono calcolati come i giorni in cui la somma degli apporti termici interni e solari eguaglia le perdite di calore ovvero quando:

$$H \cdot (t_i - t_e) \cdot \tau_{day} = Q_{gn} \rightarrow t_e = t_i - \frac{Q_{gn}}{H \cdot \tau_{day}}$$

dove:

- t_e è la temperatura esterna media giornaliera;
- t_i è la temperatura interna di regolazione per il riscaldamento;
- Q_{gn} sono gli apporti interni e solari medi giornalieri;
- H è il coefficiente globale di cambio termico dell'edificio, in W/K, pari alla somma dei coefficienti globali di scambio termico per trasmissione e ventilazione, corretti per tenere conto della differenza di temperatura interno-esterno.
- τ_{day} è la durata del giorno.

Gli apporti termici solari giornalieri sono sempre ricavati dai valori di irraggiamento solare giornaliero medio mensile secondo quanto riportato nella UNI 10349.

C. Climatizzazione estiva.

La stagione di raffrescamento è il periodo durante il quale è necessario un apporto dell'impianto di climatizzazione per mantenere all'interno dell'edificio una temperatura interna non superiore a quella di progetto:

$$t_e = t_i - \frac{Q_{gn}}{H \cdot \tau_{day}}$$

dove t_i questa volta è la temperatura interna di regolazione estiva.

D. Interpolazione di dati climatici per frazioni di mese

Per determinare i giorni limite dei periodi di riscaldamento e raffrescamento, ovvero quelli in cui la temperatura esterna media giornaliera (t_e) eguaglia i secondi termini delle ultime due equazioni sopra riportate, si procede mediante interpolazione lineare, attribuendo i valori medi mensili di temperatura riportati nella UNI 10349 al quindicesimo giorno di ciascun mese.

16.4.7 Calcolo degli scambi termici per trasmissione

Per ogni zona termica dell'edificio e per ogni mese lo scambio termico per trasmissione (tra ambiente climatizzato ed ambiente esterno) si calcola con la seguente formula sia nel caso del riscaldamento che del raffrescamento:

$$Q_{H,tr} = H_{tr,adj} \cdot (t_i - t_e) \cdot \tau + \left\{ \sum_k F_{r,k} \cdot \Phi_{r,k} \right\} \cdot \tau \quad (10)$$

dove:

- $H_{tr,adj}$ è il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione della zona considerata, corretto per tenere conto della differenza di temperatura interno-esterno [W/K], la correzione del coefficiente di scambio serve a tener conto del fatto che la temperatura dell'ambiente limitrofo può essere diversa dalla temperatura dell'ambiente esterno (ambienti non riscaldati o a diversa temperatura) in tal caso il coefficiente di correzione è \neq da 1;
- t_i è la temperatura interna di regolazione (di set point) per il riscaldamento o per il raffrescamento della zona considerata, ai fini del calcolo dei fabbisogni di energia si ipotizza che la temperatura dell'aria interna e quella media radiante siano coincidenti;
- t_e è la temperatura media mensile dell'ambiente esterno;
- $F_{r,k}$ è il fattore di forma (o di vista) tra il componente edilizio k -esimo e la volta celeste;
- $\Phi_{r,k}$ è l'extra flusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste dal componente edilizio k -esimo, mediato sul tempo, nella presente specifica tecnica, a differenza della UNI EN ISO 13790:2008, l'extra flusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste viene considerato come un incremento dello scambio termico per trasmissione invece che come una riduzione degli apporti termici solari.
- τ è la durata del mese considerato [s].

I coefficienti globali di scambio termico si ricavano come:

$$H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_U + H_A$$

dove:

- H_D è il coefficiente di scambio termico diretto per trasmissione verso l'ambiente esterno;
- H_g è il coefficiente di scambio termico stazionario per trasmissione verso il terreno;
- H_U è il coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso gli ambienti non climatizzati;
- H_A è il coefficiente di scambio termico per trasmissione verso altre zone (interne o meno all'edificio) climatizzate a temperatura diversa;

Il calcolo dei coefficienti di scambio termico per trasmissione H_D , H_g , H_U , H_A è effettuato secondo le UNI EN ISO 13789:2008 e UNI EN ISO 13370.

In generale uno dei termini H_D , H_g , H_U o H_A , che chiameremo H_x , può essere calcolato (in base alla ISO 13789) come somma di tre termini [5]:

$$H_x = b_{tr,x} \cdot \left[\sum_i U_i \cdot A_i + \sum_k \Psi_{L,k} \cdot L_k + \sum_j \chi_j \right] \quad (11)$$

dove:

- A_i = area dell'elemento di involucro i [m²];

- U_i = trasmittanza termica dell'elemento di involucro i [$W/(m^2 \cdot K)$];
- L_k = lunghezza del ponte termico lineare k -esimo [m];
- $\Psi_{L,k}$ = trasmittanza termica lineica del ponte termico lineare k -esimo, [$W/(m \cdot K)$];
- χ_j = trasmittanza termica puntiforme del ponte termico puntiforme j -esimo [W/K];
- $b_{tr,x}$ = fattore di aggiustamento, con valore ≤ 1 se la temperatura dell'altro lato dell'elemento edilizio non è uguale alla temperatura dell'ambiente esterno, come nel caso di una partizione che separa da un ambiente non climatizzato o dal terreno, i valori che può assumere sono illustrati al successivo paragrafo 16.4.7.4.

Dunque il fattore di aggiustamento, $b_{tr,x}$, aggiusta il coefficiente di scambio piuttosto che la differenza di temperatura.

16.4.7.1 Calcolo delle trasmittanze

Ai fini del calcolo della trasmittanza termica dei componenti opachi, le proprietà termofisiche dei materiali possono essere ricavate dai dati di accompagnamento della marcatura CE (ove disponibile) oppure dalla UNI 10351 (sulle proprietà dei materiali) o dalla UNI EN 1745.

Le resistenze termiche di murature e solai sono ricavabili dai dati di accompagnamento della marcatura CE (ove disponibile) oppure dalla UNI 10355 o dalla UNI EN 1745;

I coefficienti superficiali di scambio termico e le resistenze termiche delle intercapedini d'aria sono stabiliti dalla UNI EN ISO 6946.

La trasmittanza termica delle finestre si calcola secondo la UNI EN ISO 10077-1.

La trasmittanza termica delle facciate continue trasparenti si calcola in base a quanto riportato nella UNI EN 13947.

In assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise:

- i valori dei parametri termici dei componenti edilizi di edifici esistenti possono essere determinati in funzione della tipologia edilizia e del periodo di costruzione, secondo quanto indicato nelle appendici A, B e C della [6]. In tal caso l'origine dei dati deve essere riportata nel rapporto finale di calcolo.
- i valori di trasmittanza termica delle vetrate possono essere ricavati dal prospetto C.1 della [6],
- i valori di trasmittanza termica dei telai possono essere ricavati dal prospetto C.2 della [6],
- per finestre verticali di dimensioni non molto differenti da 1,20 m per 1,50 m, nell'ipotesi che l'area del telaio sia pari al 20% dell'area dell'intera finestra e che i distanziatori tra i vetri siano di tipo comune, i valori di trasmittanza termica delle finestre possono essere ricavati dal prospetto C.3 della [6].

L'effetto dell'isolamento notturno, quale quello dovuto alla presenza di una chiusura oscurante, deve essere tenuto in conto mediante la frazione adimensionale della differenza cumulata di temperatura f_{shutt} , derivante dal modello orario di utilizzo:

$$U_{w,corr} = U_{w+shutt} \cdot f_{shutt} + U_w \cdot (1 - f_{shutt})$$

dove:

- U_w è la trasmittanza termica della finestra senza chiusura oscurante;
- $U_{w,corr}$ è la trasmittanza termica ridotta della finestra e della chiusura oscurante;
- $U_{w+shutt}$ è la trasmittanza termica della finestra e della chiusura oscurante insieme;
- f_{shutt} è la frazione adimensionale della differenza cumulata di temperatura, derivante dal profilo orario di utilizzo della chiusura oscurante e dal profilo orario della differenza tra temperatura interna ed esterna.

In assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, i valori di resistenza termica addizionale, ΔR , della chiusura oscurante possono essere ricavati dal prospetto C.4 della [6].

Nella valutazione di progetto o nella valutazione standard si considera un periodo giornaliero di chiusura di 12 h. In mancanza di dati precisi sui profili giornalieri della temperatura si assuma $f_{shutt} = 0,6$.

16.4.7.2 I ponti termici

Lo scambio termico per trasmissione attraverso i ponti termici può essere calcolato secondo la UNI EN ISO 14683:2001 [15].

Per gli edifici esistenti, in assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, per alcune tipologie edilizie, lo scambio termico attraverso i ponti termici può essere determinato approssimativamente secondo quanto indicato nel seguente prospetto. In tal caso i dati utilizzati devono essere riportati nel rapporto finale di calcolo.

Nel caso in cui il ponte termico si riferisca ad un giunto tra due strutture che coinvolgono due zone termiche diverse, il valore della trasmittanza termica lineare, dedotto dalla UNI EN ISO 14683, deve essere ripartito tra le due zone interessate.

Maggiorazioni percentuali relative alla presenza dei ponti termici [%]

Queste maggiorazioni si applicano alle dispersioni della parete opaca e tengono conto anche dei ponti termici relativi ai serramenti.

Descrizione della struttura	Maggiorazione
Parete con isolamento esterno senza aggetti/balconi e ponti termici corretti	5
Parete con isolamento dall'esterno (a cappotto) con aggetti/balconi	15
Parete omogenea in mattoni pieni o in pietra (senza isolante)	5
Parete a cassa vuota con mattoni forati (senza isolante)	10
Parete a cassa vuota con isolamento nell'intercapedine (ponte termico corretto)	10
Parete a cassa vuota con isolamento nell'intercapedine (ponte termico non corretto)	20
Pannello prefabbricato in calcestruzzo con pannello isolante all'interno	30

16.4.7.3 Extra flusso da radiazione infrarossa verso la volta celeste

Il calcolo di $F_{r,k}$ e $\Phi_{r,mn,k}$ è effettuato secondo quanto riportato nella UNI EN ISO 13790:2008.

L'extra flusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste Φ_r da parte di un dato elemento di involucro è così calcolato:

$$\Phi_r = R_{se} \cdot U_c \cdot A_c \cdot h_r \cdot \Delta t_{er} \quad [W]$$

dove:

- R_{se} è la resistenza termica superficiale esterna dell'elemento, calcolata in base alla ISO 6946 [(m²·K)/W],
- U_c è la trasmittanza termica dell'elemento, calcolata in conformità alla ISO 6946 [W/(m²·K)],
- A_c è l'area dell'elemento (proiettata su un piano se l'elemento non è piano) [m²],
- h_r è il coefficiente di scambio radiativo esterno [W/(m²·K)],
- Δt_{er} è la differenza di temperatura media tra aria esterna e la temperatura apparente del cielo [°C] determinata come successivamente indicato.

In assenza di ostruzioni circostanti (di ombreggiamenti) il valore del fattore di forma per lo scambio radiativo tra l'elemento ed il cielo, $F_{r,k}$, è assunto pari a 1 nel caso di una copertura orizzontale, pari a 0,5 nel caso di una parete verticale.

Per un componente edilizio con inclinazione generica il fattore di forma F_r vale:

$$F_r = F_{sh,ob,dif} \cdot (1 + \cos \alpha) / 2$$

dove:

- α è l'angolo d'inclinazione del componente sull'orizzontale;
- $F_{sh,ob,dif}$ è il fattore di riduzione per ombreggiatura relativo alla sola radiazione diffusa, pari a 1 in assenza di ombreggiature da elementi esterni.

Il coefficiente di scambio radiativo può essere calcolato in modo approssimato con la formula già vista nel capitolo 14:

$$h_r = 4 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot (t_{ss} + 273,15)^3 \quad [W/(m^2 \cdot K)]$$

dove:

- ε è l'emissività della superficie esterna;
- σ è la costante di Stefan-Boltzmann [$5,67 \cdot 10^{-8} W/(m^2 \cdot K^4)$];
- t_{ss} è la media aritmetica delle temperature della superficie e del cielo.

In prima approssimazione, assumendo una t_{ss} pari a 10 °C, h_r può essere assunto pari a $5 \cdot \varepsilon W/(m^2 \cdot K)$. E questo è quanto suggerisce di fare la nostra norma UNI. Si ricorda che il valore tipico di ε per i materiali da costruzione è 0,9. Per i vetri senza deposito superficiale (non basso-emissivi) $\varepsilon = 0,837$.

La temperatura del cielo è inferiore a quella dell'aria esterna, quando il suo valore non è disponibile si può assumere una differenza tra temperatura dell'aria e temperatura del cielo pari a: 9 K nelle regioni sub-polari, 13 K nella fascia tropicale e 11 K nelle regioni intermedie, quest'ultimo è il caso italiano.

La UNI EN ISO 13790:2008 suggerisce che a livello nazionale può essere deciso di ignorare questo extra flusso in alternativa o in combinazione con il fatto di ignorare i guadagni solari da parte degli elementi di involucro opachi. Ma questo non è il caso italiano (NdR).

16.4.7.4 Scambio termico verso ambienti non climatizzati, la cui temperatura ha valore intermedio tra quello dell'aria esterna e quello dell'aria nei locali riscaldati, per calcolarli si può procedere come visto nel cap. 14 (formula 14.14): si calcola dapprima la temperatura del locale non riscaldato, imponendo l'equilibrio dei flussi entranti ed uscenti da esso in regime stazionario (si veda anche la formula 8 sopra riportata), quindi il flusso trasmesso, conoscendo il coefficiente di scambio tra i due locali (riscaldato e non).

La norma suggerisce comunque di procedere nel seguente modo.

Si calcola il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione, H_U , tra il volume climatizzato e gli ambienti esterni attraverso gli ambienti non climatizzati, come:

$$H_U = H_{iu} \cdot b_{tr,x}$$

dove $b_{tr,x}$ è il fattore di correzione dello scambio termico H_{iu} tra ambiente climatizzato e non climatizzato. Esso è diverso da 1 nel caso in cui la temperatura di quest'ultimo sia diversa da quella dell'ambiente esterno. In tal caso si avrà:

$$b_{tr,x} = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}}$$

dove:

- H_{iu} è il coefficiente globale di scambio termico tra l'ambiente climatizzato e l'ambiente non climatizzato;
- H_{ue} è il coefficiente globale di scambio termico tra l'ambiente non climatizzato e l'ambiente esterno.

Per gli edifici esistenti, in assenza di dati di progetto attendibili sui coefficienti di scambio termico o di informazioni più precise, si possono assumere i valori del fattore $b_{tr,x}$ riportati nel seguente prospetto.

Ambiente confinante	$b_{tr,x}$
Ambiente	
- con una parete esterna	0,4
- senza serramenti esterni e con almeno due pareti esterne	0,5
- con serramenti esterni e con almeno due pareti esterne (per esempio autorimesse)	0,6
- con tre pareti esterne (per esempio vani scala esterni)	0,8
Piano interrato o seminterrato	
- senza finestre o serramenti esterni	0,5
- con finestre o serramenti esterni	0,8
Sottotetto	
- tasso di ventilazione del sottotetto elevato (per esempio tetti ricoperti con tegole o altri materiali di copertura discontinua) senza rivestimento con feltro o assito	1,0
- altro tetto non isolato	0,9
- tetto isolato	0,7
Aree interne di circolazione (senza muri esterni e con tasso di ricambio d'aria minore di $0,5 \text{ h}^{-1}$)	0,0
Aree interne di circolazione liberamente ventilate (rapporto tra l'area delle aperture e volume dell'ambiente maggiore di $0,005 \text{ m}^2/\text{m}^3$)	1,0

16.4.7.5 Perdite per trasmissione verso il suolo. Per lo scambio termico verso il terreno si fa riferimento alla UNI EN ISO 13370:1998. Si veda Appendice n. 2.

Per gli edifici esistenti, in assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, il coefficiente di accoppiamento termico in regime stazionario tra gli ambienti interno ed esterno è dato da:

$$H_g = A \cdot U_f \cdot b_{tr,g}$$

dove:

- A è l'area dell'elemento,
- U_f è la trasmittanza termica della parte sospesa del pavimento (tra l'ambiente interno e lo spazio sottopavimento), espressa in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,
- $b_{tr,g}$ è fornito dal seguente prospetto.

Ambiente confinante	$b_{tr,g}$
Pavimento controterra	0,45
Parete controterra	0,45
Pavimento su vespaio aerato	0,80

16.4.9 SCAMBI TERMICI PER VENTILAZIONE

Per ogni zona termica dell'edificio e per ogni mese lo scambio termico per ventilazione (tra ambiente climatizzato ed ambiente esterno) si calcola con la seguente formula sia nel caso del riscaldamento che del raffrescamento:

$$Q_{H,ve} = H_{ve,adj} \cdot (t_i - t_e) \cdot \tau \quad (12)$$

dove:

- $H_{ve,adj}$ è il coefficiente globale di scambio termico per ventilazione della zona considerata, corretto per tenere conto della differenza di temperatura interno-esterno;
- t_i è la temperatura interna di regolazione (di set point) per il riscaldamento o per il raffrescamento della zona considerata, ai fini del calcolo dei fabbisogni di energia si ipotizza che la temperatura dell'aria interna e quella media radiante siano coincidenti;
- t_e è la temperatura media mensile dell'ambiente esterno;
- τ è la durata del mese considerato [s].

Il coefficiente globale di scambio termico per ventilazione si ricava come:

$$H_{ve,adj} = \rho_a \cdot c_a \cdot \left(\sum_k b_{ve,k} \cdot \dot{V}_{ve,k,mn} \right) \quad (13)$$

dove:

- $\rho_a \cdot c_a$ è la capacità termica volumica dell'aria, pari a 1200 J/(m³·K);
- $\dot{V}_{ve,k,mn}$ è la portata volumica mediata sul tempo del flusso d'aria k -esimo;
- $b_{ve,k}$ è il fattore di correzione della temperatura per il flusso d'aria k -esimo ($b_{ve,k} \neq 1$ se la temperatura di mandata non è uguale alla temperatura dell'ambiente esterno, come nel caso di pre-riscaldamento, pre-raffrescamento o di recupero termico dell'aria di ventilazione).

La portata mediata sul tempo del flusso d'aria k -esimo, $\dot{V}_{ve,k,mn}$, espressa in m³/s, si ricava come:

$$\dot{V}_{ve,k,mn} = f_{ve,t,k} \cdot \dot{V}_{ve,k}$$

dove:

- $\dot{V}_{ve,k,mn}$ è la portata mediata nel tempo del flusso d'aria k -esimo;
- $f_{ve,t,k}$ è la frazione di tempo in cui si verifica il flusso d'aria k -esimo (per una situazione permanente: $f_{ve,t,k} = 1$).

La determinazione di $b_{ve,k}$, $\dot{V}_{ve,k,mn}$ e $f_{ve,t,k}$ è effettuata secondo la UNI EN ISO 13790:2008 e secondo le seguenti indicazioni.

16.4.9.1 Valutazione della portata d'aria di ventilazione.

A. Valutazione di progetto o standard. Il numero di ricambi orari del volume d'aria interno n è stimato come segue:

a) nel caso di aerazione o ventilazione naturale:

- per gli edifici residenziali si assume un tasso di ricambio d'aria pari a 0,3 vol/h,

- per tutti gli altri edifici si assumono i tassi di ricambio d'aria riportati nella UNI 10339: 1995, e qui riportati in Appendice n. 3. I valori degli indici di affollamento sono assunti pari al 60% di quelli riportati nella suddetta norma ai fini della determinazione della portata di progetto.

In ogni caso un valore indicativo di prima approssimazione per la portata di aria di rinnovo per tutti gli edifici non residenziali può essere quello di 15 m³/h per persona (durante il periodo di occupazione).

b) Per gli edifici dotati di sistemi di ventilazione meccanica a semplice flusso (aspirazione) il tasso di ricambio d'aria è fissato pari a:

$$\dot{V}_{ve} = \dot{V}_{ve,des} \cdot k$$

dove $\dot{V}_{ve,des}$ è la portata d'aria di progetto e k è un coefficiente di contemporaneità di utilizzo delle bocchette aspiranti.

In assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, si può assumere $k = 1$ per sistemi a portata fissa, $k = 0,6$ per ventilazione igro-regolabile.

Per gli edifici dotati di sistemi di ventilazione meccanica a doppio flusso il tasso di ricambio d'aria è fissato pari a:

$$\dot{V}_{ve} = \dot{V}_{ve,des} \cdot (1 - \eta_{ve})$$

dove $\dot{V}_{ve,des}$ è la portata d'aria di progetto del sistema per ventilazione meccanica, η_{ve} è il fattore di efficienza dell'eventuale recuperatore di calore dell'aria (pari a 0 se assente).

B. Valutazione adattata all'utenza

Per calcoli aventi scopi particolari è possibile effettuare una determinazione della portata di ventilazione più accurata di quella per la valutazione di progetto o standard, tenendo conto anche dei requisiti relativi alla qualità dell'aria interna.

Nel caso di aerazione e di ventilazione naturale di un edificio il tasso di ricambio d'aria dipende dalle condizioni climatiche al contorno (velocità e direzione del vento e differenza di temperatura tra esterno ed interno), dalla permeabilità dell'involucro e dal comportamento dell'utenza. Non è possibile dunque determinare con certezza le portate di rinnovo.

Ai fini della determinazione della portata di ventilazione richiesta per soddisfare l'esigenza di qualità dell'aria interna si fa riferimento alle UNI EN 13779 e UNI EN 15251. Ai fini di un calcolo dettagliato della portata di ventilazione si fa riferimento alla UNI EN 15242.

Volume netto dell'ambiente climatizzato

Ai fini del calcolo dello scambio termico per ventilazione, in assenza di informazioni specifiche il volume netto dell'ambiente climatizzato può essere ottenuto moltiplicando il volume lordo per un fattore di correzione funzione della tipologia edilizia, secondo il seguente prospetto.

Fattore di correzione del volume lordo climatizzato

Categoria di edificio	Tipo di costruzione	
E.1, E.2, E.3, E.7	Pareti di spessore maggiore di 45 cm	Pareti di spessore fino a 45 cm
	0,6	0,7
E.4, E.5, E.6, E.8	Con partizioni interne	Senza partizioni interne
	0,8	0,9

16.4.11 APPORTI TERMICI INTERNI

Per ogni zona dell'edificio e per ogni mese, gli apporti termici si calcolano con le seguenti formule:

$$Q_{int} = \left\{ \sum_k \Phi_{int,k} \right\} \cdot \tau + \left\{ \sum_l (1 - b_{tr,l}) \cdot \Phi_{int,u,l} \right\} \cdot \tau \quad (14)$$

dove le due sommatorie si riferiscono rispettivamente ai flussi entranti/generati nella zona climatizzata e negli ambienti non climatizzati, ed inoltre:

- $b_{tr,l}$ = fattore di riduzione per l'ambiente non climatizzato avente al suo interno la sorgente di calore interna l -esima;
- $\Phi_{int,k}$ = flusso termico prodotto dalla k -esima sorgente di calore interna, mediato nel tempo;
- $\Phi_{int,u,l}$ = flusso termico prodotto dalla l -esima sorgente di calore interna nell'ambiente non climatizzato adiacente u , mediato nel tempo;

In assenza di informazioni che ne dimostrino la rilevanza, è lecito trascurare l'effetto degli apporti termici prodotti all'interno di ambienti non climatizzati.

a) Valutazione di progetto o standard

Nei casi di valutazione di progetto o di valutazione standard gli apporti termici interni sono espressi, per gli edifici diversi dalle abitazioni, in funzione della destinazione d'uso secondo quanto riportato nel seguente prospetto.

Dati convenzionali relativi all'utenza

Categoria di edificio	Destinazione d'uso	Apporti medi globali (W/m ²)
E.1(3)	Alberghi, pensioni ed attività similari	6
E.2	Uffici e assimilabili	6
E.3	Ospedali, cliniche o case di cura e assimilabili	8
E.4 (1)	Cinema e teatri, sale di riunione per congressi	8
E.4 (2)	Mostre, musei e biblioteche, luoghi di culto	8
E.4 (3)	Bar, ristoranti, sale da ballo	10
E.5	Edifici adibiti ad attività commerciali e assimilabili	8
E.6 (1)	Piscine, saune e assimilabili	10
E.6 (2)	Palestre e assimilabili	5
E.6 (3)	Servizi di supporto alle attività sportive	4
E.7	Attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili	4
E.8	Attività industriali ed artigianali e assimilabili	6

Per le abitazioni, edifici di categoria E.1 (1) e E.1 (2), aventi superficie utile di pavimento, A_u , minore o uguale a 170 m², il valore globale degli apporti interni, espresso in W, è ricavato come:

$$\Phi_{int} = 5,294 \cdot A_u - 0,01577 \cdot A_u^2$$

Per un appartamento da 100 m² la formula fornisce una generazione interna di 3,71 W/m², valore non lontano dai 4 W/m² precedentemente indicati dalla normativa.

Per superficie utile di pavimento maggiore di 170 m² il valore di Φ_{int} è assunto pari a 450 W.

b) Valutazione adattata all'utenza

Per calcoli aventi scopi particolari possono essere utilizzati dati diversi a seconda dello scopo del calcolo. Nel seguito vengono forniti valori tipici degli apporti interni medi per diverse destinazioni d'uso, applicabili sia in condizioni invernali che estive, distinguendo tra:

- apporti globali;
- apporti dovuti agli occupanti;
- apporti dovuti alle apparecchiature.

Le sorgenti di energia termica presenti all'interno di uno spazio chiuso sono in genere dovute ad occupanti, acqua calda sanitaria reflua, apparecchiature elettriche, di illuminazione e di cottura.

Gli apporti interni di calore derivanti da queste sorgenti sono ricavabili in funzione della destinazione d'uso dei locali, utilizzando i seguenti prospetti.

Profili temporali degli apporti termici da occupanti ed apparecchiature (edifici residenziali)

Giorni	Ore	Soggiorno e cucina W/m ²	Altre aree climatizzate (es. stanza da letto) W/m ²
Lunedì - Venerdì	07.00 - 17.00	8,0	1,0
	17.00 - 23.00	20,0	1,0
	23.00 - 07.00	2,0	6,0
	Media	9,0	2,67
Sabato - Domenica	07.00 - 17.00	8,0	2,0
	17.00 - 23.00	20,0	4,0
	23.00 - 07.00	2,0	6,0
	Media	9,0	3,83
Media		9,0	3,0

Profili temporali degli apporti termici da occupanti ed apparecchiature (edifici per uffici)

Giorni	Ore	Ambienti ufficio (60% della superficie utile di pavimento) W/m ²	Altre stanze, atri, cor- ridoi (40% della superficie utile di pa- vimento) W/m ²
Lunedì - Venerdì	07.00 - 17.00	20,0	8,0
	17.00 - 23.00	2,0	1,0
	23.00 - 07.00	2,0	1,0
	Media	9,5	3,92
Sabato - Domenica	07.00 - 17.00	2,0	1,0
	17.00 - 23.00	2,0	1,0
	23.00 - 07.00	2,0	1,0
	Media	2,0	1,0
Media		7,4	3,1

Apporti termici da occupanti; valori globali in funzione della densità di occupazione (edifici non residenziali)

Classe di densità di occupazione	m ² di superficie utile di pavimento per persona	Fattore di simultaneità	W/m ²
I	1,0	0,15	15
II	2,5	0,25	10
III	5,5	0,27	5
IV	14	0,42	3
V	20	0,40	2

Apporti termici da apparecchiature; valori globali in funzione della categoria di edificio
(edifici non residenziali)

Categoria di edificio	Apporto termico delle apparecchiature durante il periodo di funzionamento (W/m ²)	Simultaneità f_A	Apporto termico medio delle apparecchiature (W/m ²)
Uffici	15	0,20	3
Attività scolastiche	5	0,15	1
Cura della salute, attività clinica	8	0,50	4
Cura della salute, attività non clinica	15	0,20	3
Servizi di approvvigionamento	10	0,25	3
Esercizi commerciali	10	0,25	3
Luoghi di riunione	5	0,20	1
Alberghi e pensioni	4	0,50	2
Penitenziari	4	0,50	2
Attività sportive	4	0,25	1

Tutti i valori riportati nei precedenti prospetti sono riferiti al m² di area netta di pavimento della **ZT (area climatizzata netta)**, in assenza di informazioni esatte la sua estensione può essere ottenuta moltiplicando la corrispondente area lorda per un fattore f_n , ricavabile in funzione dello spessore medio delle pareti esterne, d_m :

$$f_n = 0,9761 - 0,3055 \cdot d_m$$

16.4.12 APPORTI TERMICI SOLARI

Analogamente agli apporti termici interni gli apporti solari si calcolano come segue.

$$Q_{sol} = \left\{ \sum_k \Phi_{sol,k} \right\} \cdot \tau + \left\{ \sum_l (1 - b_{tr,l}) \cdot \Phi_{sol,u,l} \right\} \cdot \tau \quad (15)$$

dove le due sommatorie si riferiscono rispettivamente ai flussi entranti nella zona climatizzata e negli ambienti non climatizzati, in assenza di informazioni che ne dimostrino la trascurabilità, è necessario considerare l'effetto degli apporti termici solari all'interno di ambienti non climatizzati (per esempio serre), inoltre:

- $b_{tr,l}$ = fattore di riduzione per l'ambiente non climatizzato che riceve il flusso termico l -esimo di origine solare;
- $\Phi_{sol,k}$ = flusso termico k -esimo di origine solare, mediato nel tempo;
- $\Phi_{sol,u,l}$ = flusso termico l -esimo di origine solare nell'ambiente non climatizzato adiacente u , mediato nel tempo.

I guadagni solari sono calcolati in base alla radiazione solare normalmente disponibile nella località in esame, all'orientamento delle aree di collezione, agli ombreggiamenti fissi (permanenti) ed alle caratteristiche di trasmissione ed assorbimento dei materiali costituenti le aree captanti.

Il flusso termico k -esimo di origine solare, $\Phi_{sol,k}$, espresso in W, si calcola con la seguente formula:

$$\Phi_{sol,k} = F_{sh,ob,k} \cdot A_{sol,k} \cdot I_{sol,k}$$

dove:

- $F_{sh,ob,k}$ = fattore di riduzione per ombreggiatura relativo ad elementi esterni relativo all'area di captazione solare effettiva della superficie k -esima;
- $A_{sol,k}$ = area di captazione solare effettiva della superficie k -esima con dato orientamento e angolo d'inclinazione sul piano orizzontale, nella zona o ambiente considerato [m^2];
- $I_{sol,k}$ = irradianza solare media mensile, sulla superficie k -esima, con dato orientamento e angolo d'inclinazione sul piano orizzontale [W/m^2].

La norma UNI 10349: 1994 [13] fornisce i valori medi mensili della irradiazione solare giornaliera in $MJ/(m^2 \cdot \text{giorno})$, relativamente ad una superficie orizzontale ed ai principali orientamenti (N, S, E e O, SE e SO, NE e NO).

I valori di irradianza solare totale media mensile in W/m^2 possono essere ricavati dai valori di irradiazione solare giornaliera media mensile forniti dalla UNI 10349 (in $MJ/(m^2 \cdot \text{giorno})$). Dunque dividendo il valore fornito dalla norma per 24 (ore) e per 3,6. Oppure, anziché procedere così e rimoltiplicare poi il valore ottenuto per l'intervallo di tempo, ovvero la durata del mese in secondi (come indicato nella 15), si possono prendere i valori giornalieri forniti dalla norma, moltiplicarli per il numero di giorni contenuti nel periodo di calcolo (mese) e convertire poi il risultato (che sarebbe sempre in MJ) in kWh dividendolo per 3,6.

Occorre tenere conto degli apporti termici dovuti alla radiazione solare incidente sulle chiusure opache. L'area di captazione solare effettiva di una parte opaca dell'involucro edilizio, A_{sol} , è calcolata con la seguente formula:

$$A_{sol} = \alpha_{sol,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_c$$

dove:

- $\alpha_{sol,c}$ = fattore di assorbimento solare del componente opaco, In assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, il fattore di assorbimento solare di un componente opaco può essere assunto pari a 0,3 per colore chiaro della superficie esterna, 0,6 per colore medio e 0,9 per colore scuro;
- R_{se} = resistenza termica superficiale esterna del componente opaco, determinato secondo la UNI EN ISO 6946;
- U_c = è la trasmittanza termica del componente opaco;
- A_c = area proiettata del componente opaco.

L'area di captazione solare effettiva di un componente vetrato dell'involucro (per esempio una finestra), A_{sol} , è calcolata con la seguente formula:

$$A_{sol} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_F) \cdot A_{w,p}$$

dove:

- $F_{sh,gl}$ = fattore di riduzione degli apporti solari relativo all'utilizzo di schermature mobili;
- g_{gl} = trasmittanza di energia solare della parte trasparente del componente;
- F_F = frazione di area relativa al telaio, rapporto tra l'area proiettata del telaio e l'area proiettata totale del componente vetrato;
- $A_{w,p}$ = area totale (proiettata sul piano della facciata di appartenenza) del componente vetrato (in pratica l'area del vano finestra).

I valori della trasmissione di energia solare totale degli elementi vetrati (g_{gl}) possono essere ricavati moltiplicando i valori di trasmissione di energia solare totale per incidenza normale (g_{\perp}) per un fattore di esposizione (F_w) assunto pari a 0,9 (per i calcoli su base mensile).

I valori della trasmissione di energia solare totale per incidenza normale degli elementi vetrati possono essere determinati attraverso la UNI EN 410. In assenza di dati documentati, si usa il seguente prospetto.

Valori tipici della trasmissione energetica solare totale (per incidenza normale g_{\perp}) per comuni tipi di vetrate.

Tipo di metratura	g_{\perp}
Vetro singolo	0,85
Doppio vetro normale	0,75
Doppio vetro con rivestimento basso-emissivo	0,67
Triplo vetro normale	0,70
Triplo vetro con doppio rivestimento basso-emissivo	0,50
Doppia finestra	0,75

Il valore di g_{\perp} è maggiore di quello mediato nel tempo, dal momento che mediamente l'angolo di incidenza della radiazione diretta è molto diverso da zero, pertanto va utilizzato un fattore di correzione per ottenere g :

$$g_{gl} = F_w \cdot g_{\perp}$$

Il fattore di correzione dovuto al telaio, o fattore telaio ($1 - F_F$), è pari al rapporto tra l'area trasparente e l'area totale dell'unità vetrata del serramento. In assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, si può assumere un valore convenzionale del fattore telaio pari a 0,8.

Effetto di schermature mobili

In assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, l'effetto delle eventuali schermature mobili può essere valutato attraverso i fattori di riduzione riportati nel seguente prospetto, essi sono definiti come il rapporto tra i valori di trasmissione di energia solare totale della finestra con e senza schermatura (g_{gl+sh} / g_{gl}).

Dal momento che g ingloba l'effetto dei dispositivi fissi di protezione solare quando presenti, i valori ottenuti di g_{gl} andranno moltiplicati a seconda dei casi per i seguenti fattori di riduzione per ottenere g_{gl+sh} . Come si può osservare gli schermi posizionati all'esterno provocano una maggiore riduzione del coefficiente di trasmissione (trasmissione) solare g_{gl} .

Degli effetti delle tendine mobili e delle protezioni solari mobili si deve tener con i coefficienti di utilizzo dei guadagni.

Nelle valutazioni di progetto e standard si prende in considerazione solo l'effetto delle schermature mobili permanenti, cioè integrate nell'involucro edilizio e non liberamente montabili e smontabili da parte dell'utente.

Fattori di riduzione per alcuni tipi di schermi / tendine

Tipo di tendina	Proprietà ottiche		Fattore di riduzione con	
	Assorbimento	trasmissione	tendina interna	tendina esterna
Veneziane bianche	0,1	0,05	0,25	0,10
		0,1	0,30	0,15
		0,3	0,45	0,35
Tendina bianca	0,1	0,5	0,65	0,55
		0,7	0,80	0,75
		0,9	0,95	0,95
Tendina colorata	0,3	0,1	0,42	0,17
		0,3	0,57	0,37
		0,5	0,77	0,57
Tessuto con rivestimento in Alluminio	0,2	0,05	0,20	0,08

Gestione delle schermature mobili. Il fattore di riduzione degli apporti solari relativo all'utilizzo di schermature mobili, $F_{sh,gl}$, è ricavato dalla seguente espressione:

$$F_{sh,gl} = [(1 - f_{sh,with}) \cdot g_{gl} + f_{sh,with} \cdot g_{gl+sh}] / g_{gl}$$

dove:

- g_{gl} è la trasmittanza di energia solare totale della finestra, quando la schermatura solare non è utilizzata;
- g_{gl+sh} è la trasmittanza di energia solare totale della finestra, quando la schermatura solare è utilizzata;
- $f_{sh,with}$ è la frazione di tempo in cui la schermatura solare è utilizzata, pesata in base all'irraggiamento solare incidente; essa dipende dal profilo dell'irradianza solare incidente sulla finestra e quindi dal clima, dalla stagione e dall'esposizione.

Per ciascun mese e per ciascuna esposizione il valore di $f_{sh,with}$ può essere ricavato come rapporto tra la somma dei valori orari di irradianza maggiori di 300 W/m² e la somma di tutti i valori orari di irradianza del mese considerato.

Nella valutazione di progetto o nella valutazione standard i valori di $f_{sh,with}$ devono essere ricavati dal seguente prospetto in funzione del mese e dell'orientamento. Per orientamenti non considerati nel prospetto, si procede per interpolazione lineare.

Fattore di riduzione per le schermature mobili, $f_{sh,with}$

Mese	Nord	Est	Sud	Ovest
1	0,00	0,52	0,81	0,39
2	0,00	0,48	0,82	0,55
3	0,00	0,66	0,81	0,63
4	0,00	0,71	0,74	0,62
5	0,00	0,71	0,62	0,64
6	0,00	0,75	0,56	0,68
7	0,00	0,74	0,62	0,73
8	0,00	0,75	0,76	0,72
9	0,00	0,73	0,82	0,67
10	0,00	0,72	0,86	0,60
11	0,00	0,62	0,84	0,30
12	0,00	0,50	0,86	0,42

Ombreggiatura

Il fattore di correzione per **ombreggiamenti fissi** (shading correction factor) $F_{sh,ob}$ è un fattore (che può variare tra 0 ed 1) per il quale viene moltiplicato il valore della radiazione solare incidente sulla superficie in esame per tenere conto dell'effetto di ombreggiatura permanente sull'elemento vetrato risultante da ostruzioni fisse circostanti quali: orizzonte, altri edifici, topografia (rilievi, alberi), aggetti o altri elementi dello stesso edificio, o spessore esterno al vetro del muro su cui il è inserito l'elemento in esame, se si tratta ad esempio di un elemento vetrato (imbotte).

$F_{sh,ob}$ è definito dal rapporto tra l'irradianza solare totale effettivamente ricevuta dalla superficie captante in presenza delle ombreggiature permanenti nell'arco del mese, $I_{s,ps}$, e l'irradianza solare totale che la stessa superficie avrebbe ricevuto in assenza di ombreggiamenti fissi I_s :

$$F_{sh,ob} = \frac{I_{s,ps}}{I_s}$$

Esso può essere calcolato come prodotto dei fattori di ombreggiatura relativi ad ostruzioni esterne (F_{hor}), ad aggetti orizzontali (F_{ov}) e verticali (F_{fin}).

$$F_{sh,ob} = F_{hor} \cdot F_{ov} \cdot F_{fin}$$

dove:

- F_{hor} è il fattore di correzione parziale dovuto all'orizzonte costituito dalle ostruzioni presenti,
- F_{ov} è il fattore di correzione parziale dovuto agli aggetti orizzontali (sopra l'apertura finestrata),
- F_{fin} è il fattore di correzione parziale dovuto agli aggetti verticali (lateralmente all'apertura finestrata).

I valori dei fattori di ombreggiatura dipendono dalla latitudine, dall'orientamento dell'elemento ombreggiato, dal clima, dal periodo considerato e dalle caratteristiche geometriche degli elementi ombreggianti. Tali caratteristiche sono descritte da un parametro angolare, come evidenziato nelle seguenti figure.

In particolare il fattore di correzione parziale dovuto all'**orizzonte** F_{hor} (terreno, alberi, ostruzioni urbane) dipende dall'angolo in verticale α (vedi figura), che è mediato lungo l'orizzonte visto dalla superficie finestrata in esame, da latitudine, orientamento, clima locale.

Si riportano a titolo indicativo nelle seguenti tabelle i valori di F_h per alcuni climi tipici e per una stagione di riscaldamento che va da Ottobre ad Aprile, per tre latitudini e quattro orientamenti. Si possono fare interpolazioni per ricavare valori relativi a situazioni diverse.

La norma attuale [6] fornisce i valori medi mensili di tutti i 12 mesi e per varie latitudini italiane.

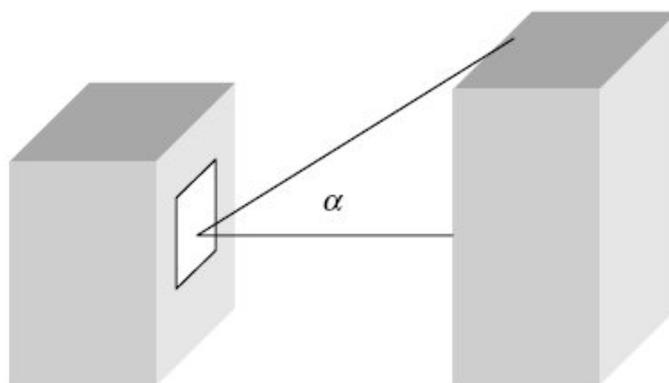
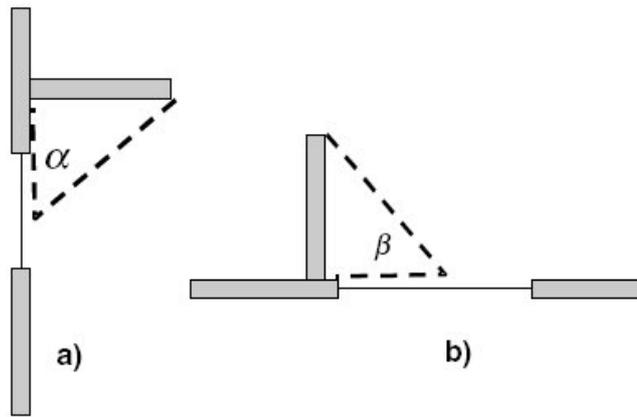


Fig. 3. Angolo dell'Orizzonte, α . Fonte dell'illustrazione: [1].

Fattore di correzione parziale dovuto all'orizzonte, F_{hor}

Angolo orizzonte	45° N			55° N			65° N		
	S	E/W	N	S	E/W	N	S	E/W	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10°	0,97	0,95	0,98	0,94	0,92	0,99	0,86	0,89	0,97
20°	0,85	0,82	0,94	0,68	0,75	0,95	0,58	0,68	0,93
30°	0,62	0,70	0,90	0,49	0,62	0,92	0,41	0,54	0,89
40°	0,46	0,61	1,00	0,40	0,56	0,89	0,29	0,49	0,85



a) Sezione verticale b) Sezione orizzontale

Fig. 4. α : angolo aggetto verticale; β : angolo aggetto orizzontale. Fonte dell'illustrazione: [1].

Fattore di correzione parziale dovuto agli aggetti orizzontali, F_o

Angolo aggetto	45° N			55° N			65° N		
	S	E/W	N	S	E/W	N	S	E/W	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30°	0,90	0,89	0,91	0,93	0,91	0,91	0,95	0,92	0,90
45°	0,74	0,76	0,80	0,80	0,79	0,80	0,85	0,81	0,80
60°	0,50	0,58	0,66	0,60	0,61	0,65	0,66	0,65	0,66

Fattore di correzione parziale dovuto agli aggetti laterali verticali, F_f

Angolo aggetto	45° N			55° N			65° N		
	S	E/W	N	S	E/W	N	S	E/W	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30°	0,94	0,92	1,00	0,94	0,91	0,99	0,94	0,90	0,98
45°	0,84	0,84	1,00	0,86	0,83	0,99	0,85	0,82	0,98
60°	0,72	0,75	1,00	0,74	0,75	0,99	0,73	0,73	0,98

16.6 I COEFFICIENTI DI UTILIZZO DEGLI APPORTI E DEGLI SCAMBI TERMICI (PARAMETRI DINAMICI)

Per calcolare la **domanda termica invernale** ($Q_{H,nd}$) ed estiva ($Q_{C,nd}$) degli spazi confinati (dell'edificio o delle sue singole ZT) in base alle eq. (7) ed (8) sono necessari i coefficienti di utilizzo degli apporti termici, nella stagione di riscaldamento, e delle dispersioni nella stagione calda. Questi coefficienti consentono di tener conto del ruolo svolto dall'inerzia termica delle masse costituenti l'edificio in regime dinamico (parametri dinamici). Essi vengono calcolati come di seguito illustrato.

16.6.1 Il fattore di utilizzazione degli apporti termici $\eta_{H,gn}$ è un fattore di riduzione degli stessi che serve a compensare le dispersioni addizionali che si verificano (a causa delle maggiori temperature interne raggiunte -NdR -) quando i guadagni sono maggiori delle dispersioni.

Anche nel periodo freddo i guadagni termici, dovuti al Sole od alle fonti interne, possono non essere utili o risultare degli oneri (dei carichi per l'impianto), quando non sono in fase con la domanda termica. Questo vale in particolare per i guadagni solari, che sono massimi quando le dispersioni sono minime. In questi casi i guadagni, se sono di entità superiore a quella delle dispersioni, anziché contribuire a coprire il carico da riscaldamento, provocano surriscaldamento; dunque possono tradursi semplicemente in dispersioni maggiori oppure, nei periodi meno freddi, in carichi addizionali di raffrescamento per l'impianto di climatizzazione. Come si vedrà nel seguito, il loro coefficiente di utilizzo aumenta con la capacità termica della ZT, ovvero con la sua capacità di accumulare il calore relativo ai guadagni ed utilizzarlo in tempi differiti, riducendo così lo sfasamento tra domanda ed offerta.

Il fattore di utilizzo viene calcolato in funzione dei parametri γ_H e τ .

Il primo (γ) rappresenta il rapporto tra guadagni e dispersioni:

$$\gamma_H = \frac{Q_{gn}}{Q_{H,ht}} \quad (16)$$

mentre il secondo (τ) rappresenta **la costante di tempo della zona termica** espressa in ore e così definita:

$$\tau = \frac{C_m}{(H_{tr,adj} + H_{ve,adj}) \cdot 3600} \quad (17)$$

dove C_m è la **capacità termica interna** della zona termica o dell'edificio [J/K], calcolata come di seguito illustrato, ed al denominatore compare la somma dei coefficienti di scambio termico per trasmissione e ventilazione prima definiti [W/K], corretto per tenere conto della differenza di temperatura interno-esterno, somma che costituisce il **coefficiente globale di scambio termico** della zona, definibile anche come segue:

$$H = \frac{Q_{H,ht}}{(t_i - t_e)}$$

Il **fattore di utilizzazione dei guadagni termici** $\eta_{H,gn}$ è quindi così calcolato:

per $\gamma_H > 0$ e $\gamma_H < 1$

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}} \quad (18)$$

per $\gamma_H = 1$

$$\eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H + 1} \quad (19)$$

dove a è un parametro numerico dipendente dalla costante di tempo τ e così definito:

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}} \quad (20)$$

Con riferimento al periodo di calcolo mensile si può assumere $a_{H,0} = 1$ e $\tau_{H,0} = 15$ h.

In generale i valori di del parametro numerico a_0 e di τ_0 , valore di riferimento della costante di tempo, sono forniti nella seguente tavola 4. essi possono anche essere disponibili a livello nazionale.

Tipo di edificio		a_0	τ_0 [h]
I	Edificio riscaldato con continuità (più di 12 ore al giorno), come: edif. Residenziali, ospedali, prigioni.		
	Calcolo mensile	1	15
	Calcolo stagionale	0,8	30
II	Edifici riscaldati solo di giorno (meno di 12 ore al giorno), come: scuole, uffici, negozi.	0,8	70

16.6.1 Il fattore di utilizzazione delle dispersioni termiche $\eta_{C,gn}$ per il calcolo del fabbisogno termico da raffrescamento si calcola nel seguente modo:

per $\gamma_C > 0$ e $\gamma_C < 1$:

$$\eta_{C,ls} = \frac{1 - \gamma_C^{-a_C}}{1 - \gamma_C^{-(a_C+1)}} \quad (21)$$

per $\gamma_C = 1$:

$$\eta_{C,ls} = \frac{a_C}{a_C + 1} \quad (22)$$

per $\gamma_C = 0$:

$$\eta_{C,ls} = 1 \quad (23)$$

dove:

$$\gamma_C = \frac{Q_{gn}}{Q_{C,ht}} \quad (24)$$

dove a è un parametro numerico dipendente dalla costante di tempo τ e così definito:

$$a_C = a_{C,0} + \frac{\tau}{\tau_{C,0}} + k \cdot \frac{A_w}{A_{pav}} \quad (25)$$

Dove A_w rappresenta l'area finestrata e A_{pav} l'area del pavimento della zona termica.

Con riferimento al periodo di calcolo mensile si può assumere $a_{C,0} = 8,1$, $\tau_{C,0} = 17$ h e $k = 13$.

Le figure di seguito riportate (fonte: UNI EN ISO 13790: 2005) illustrano l'andamento dei fattori di utilizzo per periodi di riscaldamento mensile e per varie costanti di tempo per edifici con diverso regime di funzionamento dell'impianto termico nella stagione fredda.

Il fattore di utilizzo è indipendente dal tipo di impianto di riscaldamento, (dal momento che) si assume un perfetto controllo della temperatura ed una infinita flessibilità (impianto che risponde immediatamente). Scostandosi da questi presupposti i fattori di utilizzo possono essere sensibilmente alterati.

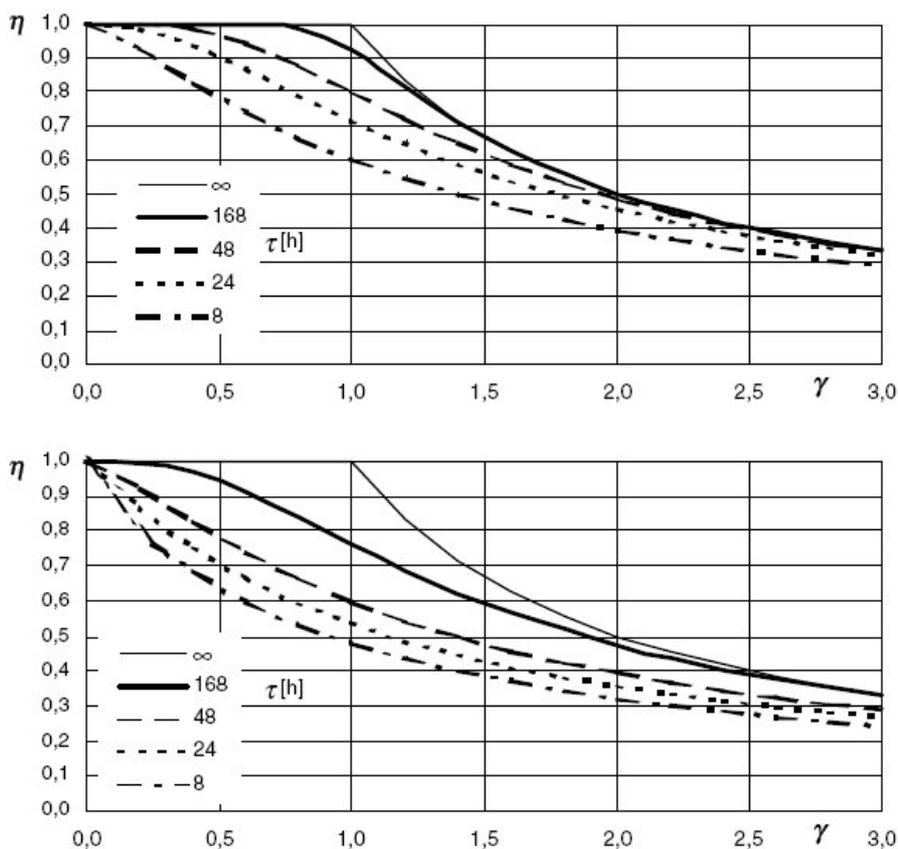


Fig. 5. Fattore di utilizzazione dei guadagni termici invernali $\eta_{H,gn}$ in funzione della costante di tempo τ e del rapporto tra guadagni e dispersioni γ_H dell'edificio, validi per il calcolo mensile; il diagramma superiore è riferito ad un edificio riscaldato con continuità mentre quello inferiore è riferito ad un edificio riscaldato solo durante le ore diurne (fonte: UNI EN ISO 13790: 2005).

La figura 5 mostra l'andamento dei fattori di utilizzo per costanti di tempo di otto ore, 1 giorno, due giorni, una settimana ed un periodo infinito. Il primo grafico è riferito ad un edificio utilizzato con continuità (tipo I), la seconda per un edificio utilizzato solo di giorno (tipo II). I valori corrispondenti al tipo II sono evidentemente inferiori.

La **capacità termica interna dell'edificio** [J/K], necessaria al calcolo della costante di tempo della ZT dunque dei fattori di utilizzazione, può essere calcolata analiticamente sommando le capacità termiche di tutti gli elementi edilizi in diretto contatto con l'aria interna della zona in esame:

$$C = \sum_j \chi_j \cdot A_j = \sum_j \sum_i \rho_{ij} \cdot c_{ij} \cdot d_{ij} \cdot A_j \quad (26)$$

dove:

χ_j : è la capacità termica superficiale (areale) dell'elemento edilizio j-esimo [J/(m²·K)],

A_j : è l'area dell'elemento j-esimo [m²],

ρ_{ij} : è la densità del materiale costituente lo strato i-esimo dell'elemento j-esimo [kg/ m³],

c_{ij} : è la capacità termica specifica del materiale dello strato i-esimo dell'elemento j-esimo [J/(kg·K)],

d_{ij} : è lo spessore dello strato i-esimo dell'elemento j-esimo.

La sommatoria è estesa a tutti gli strati di ogni elemento, partendo dalla superficie interna e procedendo fino al primo strato di isolante. Il massimo spessore da considerare è quello corrispondente alla metà dello spessore (profondità) dell'elemento, oppure, se minore di essa, uno spessore di 10 cm quando si vuole calcolare il fattore di utilizzazione (dei guadagni), od uno spessore di tre cm quando si vuole calcolare l'effetto dell'intermittenza.

Il calcolo della capacità termica interna dei componenti della struttura edilizia deve essere effettuato secondo la UNI EN ISO 13786.

Capacità termica per unità di superficie di involucro [kJ/(m²·K)]

Caratteristiche costruttive dei componenti edilizi				Numero di piani		
Intonaci	Isolamento	Pareti esterne	Pavimenti	1	2	>=3
				Capacità termica areica		
gesso	interno	Qualsiasi	tessile	75	75	85
	interno	Qualsiasi	legno	85	95	105
	interno	Qualsiasi	piastrelle	95	105	115
	assente/esterno	leggere/blocchi	tessile	95	95	95
	assente/esterno	medie/pesanti	tessile	105	95	95
	assente/esterno	leggere/blocchi	legno	115	115	115
	assente/esterno	medie/pesanti	legno	115	125	125
	assente/esterno	leggere/blocchi	piastrelle	115	125	135
	assente/esterno	medie/pesanti	piastrelle	125	135	135
malta	interno	Qualsiasi	tessile	105	105	105
	interno	Qualsiasi	legno	115	125	135
	interno	Qualsiasi	piastrelle	125	135	135
	assente/esterno	leggere/blocchi	tessile	125	125	115
	assente/esterno	Medie	tessile	135	135	125
	assente/esterno	Pesanti	tessile	145	135	125
	assente/esterno	leggere/blocchi	legno	145	145	145
	assente/esterno	Medie	legno	155	155	155
	assente/esterno	Pesanti	Legno	165	165	165
	assente/esterno	leggere/blocchi	Piastrelle	145	155	155
	assente/esterno	Medie	Piastrelle	155	165	165
	assente/esterno	Pesanti	Piastrelle	165	165	165

Limitatamente agli edifici esistenti, in assenza di informazioni precise sulla reale costituzione delle strutture edilizie, la capacità termica interna della zona termica può essere stimata in modo semplificato sulla base del prospetto sopra riportato.

16.7 EFFETTI DEL REGIME DI FUNZIONAMENTO DELL'IMPIANTO: INTERMITTENZA ED ATTENUAZIONE

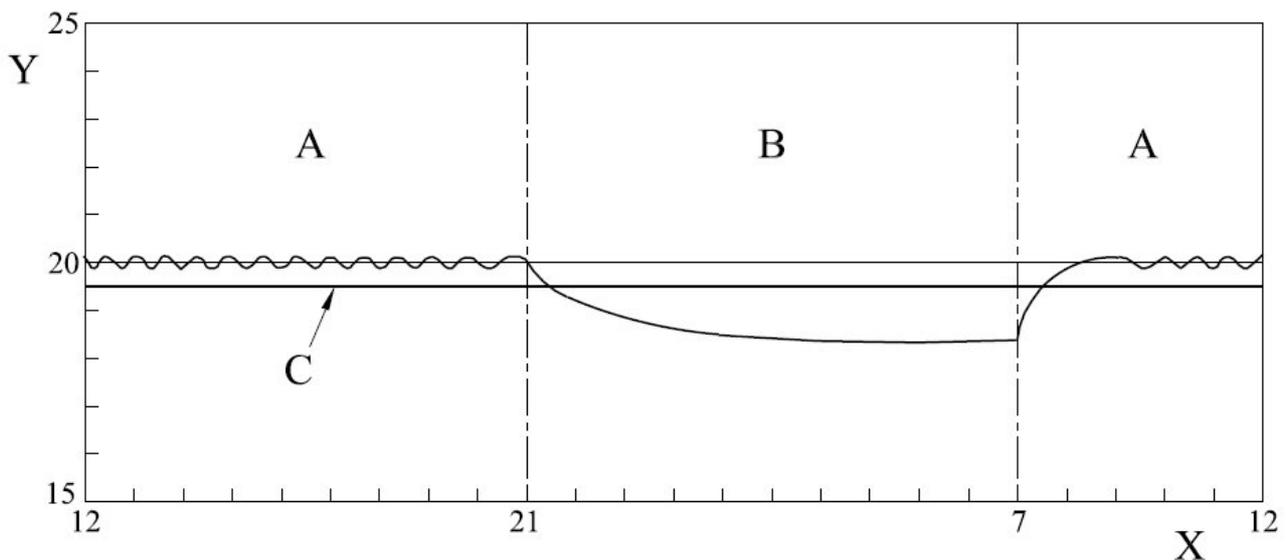
Nella valutazione di progetto o standard il regime di funzionamento dell'impianto di climatizzazione è considerato continuo, senza periodi di attenuazione o di spegnimento.

Nelle valutazioni adattate all'utenza vanno distinti i vari casi.

Per la climatizzazione invernale, quando l'intermittenza è periodica nell'arco delle 24 h (abbassamento notturno, spegnimento) occorre distinguere tra due casi:

A: Quando la temperatura interna è controllata da un termostato ambiente a doppia temperatura di regolazione (minima e massima) il calcolo viene condotto adottando, anziché la temperatura interna costante di 20 °C, la temperatura interna media risultante (media ponderata) nelle 24 h.

Regime intermittente con regolazione locale

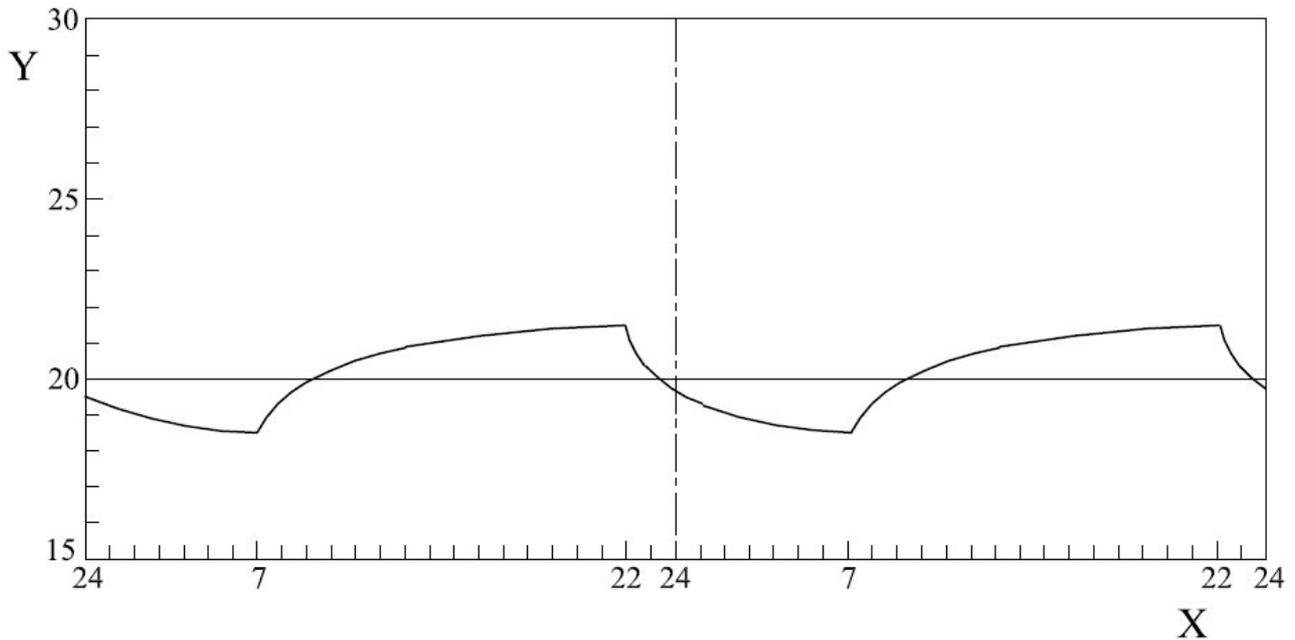


Legenda:

- X Orario
- Y Temperatura ambiente (°C)
- A Attività
- B Interruzione
- C Temperatura risultante

B: Quando l'intermittenza è effettuata attraverso la centralina climatica, l'effetto sul fabbisogno di calore utile dell'involucro è trascurabile.

Regime intermittente con regolazione centrale climatica



Legenda:

- X Orario

- Y Temperatura ambiente (°C)

Entrambi i criteri di funzionamento influenzano il calcolo dei rendimenti in funzione della modalità di funzionamento del generatore e ne va tenuto conto.

Per spegnimenti maggiori di 24 h in edifici molto disperdenti o caratterizzati da masse non elevate, la norma rinvia alla UNI EN ISO 13790:2008.

Anche per la climatizzazione estiva la norma rinvia alla UNI EN ISO 13790:2008.

16.5 LA DOMANDA DI ENERGIA PRIMARIA PER RISCALDAMENTO DI AMBIENTI CONFINATI

La domanda termica stagionale per climatizzazione risulta dalla sommatoria delle domande termiche mensili estesa a tutti i mesi e periodi sub-mensili interessati.

Nell'arco di un dato periodo la domanda di energia primaria per climatizzazione, ovvero l'input energetico del sistema impiantistico (EPi ed EPe), è calcolabile con formule del tipo della (2): ovvero dividendo il fabbisogno di energia termica per riscaldamento $Q_{H,nd}$ o per raffrescamento $Q_{C,nd}$ dell'edificio, risultanti dalle (7) ed (8), per il prodotto dei vari rendimenti delle parti di impianto: di regolazione, di erogazione, di distribuzione e di produzione. Questi sono calcolabili secondo la UNI/TS 11300-2 [7] nel caso del riscaldamento e secondo la UNI/TS 11300-3 [7] nel caso del raffrescamento. Vedasi anche il metodo semplificato riportato in Appendice-1.

Questa domanda di energia primaria corrisponde al potere calorifico inferiore del combustibile utilizzato, in base ad esso si può ricavare la quantità di combustibile necessaria.

Note.

*) - L'Italia ha recepito i contenuti della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia, con la pubblicazione del DLgs 192/2005, entrato in vigore l'8 ottobre 2005, poi modificato e integrato dal DLgs 311/06 "Disposizioni correttive e integrative al decreto legislativo 19/8/05 n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia" che è entrato in vigore a partire dal 2 Febbraio 2007.

L'art.4 del DLgs192/05 prevedeva la pubblicazione di ulteriori decreti attuativi che completano il quadro sui seguenti temi:

- 1- i criteri di calcolo e requisiti minimi per gli impianti;
- 2- i criteri generali di prestazione energetica per l'edilizia convenzionata, pubblica e privata;
- 3- i requisiti professionali e di accreditamento per la certificazione.

Riguardo i primi due punti sono finora usciti:

- il DPR 59/2009, pubblicato in GU il 10 Giugno 2009 ed in vigore il 25 Giugno 2009 che definisce i criteri generali per il calcolo, indica le norme tecniche nazionali di riferimento e fissa i requisiti minimi per le prestazioni energetiche di impianti ed edifici, di nuovo ci sono le prestazioni energetiche estive non definite prima,
- il DM 26 giugno 2009 che definisce le linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici (09A07900), definite nel suo allegato A, e gli strumenti di raccordo e concertazione tra Stato e Regioni (pubblicato in *GU n. 158 del 10-7-2009*).

Entrambi i provvedimenti legislativi rinviano, per il calcolo dei parametri di valutazione previsti, alle norme tecniche nazionali al momento disponibili:

- UNI/TS 11300 - 1 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale,
- UNI/TS 11300 - 2 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.

Le parti 3 e 4 della UNI/TS 11300 riguardano rispettivamente il fabbisogno di energia primaria ed i rendimenti per la climatizzazione estiva e l'utilizzo di energie rinnovabili ed altri metodi di generazione per il riscaldamento di ambienti e la produzione di ACS.

Queste norme definiscono le modalità per l'applicazione nazionale della UNI EN ISO 13790:2008 con riferimento al metodo mensile per il calcolo dei fabbisogni di energia termica per riscaldamento e per raffrescamento, e sono rivolte a tutte le possibili applicazioni previste dalla UNI EN ISO 13790:2008: calcolo di progetto (*design rating*), valutazione energetica di edifici attraverso il calcolo in condizioni standard (*asset rating*) o in particolari condizioni climatiche e d'esercizio (*tailored rating*).

Le linee guida nazionali per la certificazione energetica indicano anche in taluni casi (edifici esistenti con superficie utile inferiore a 1000 m²) un metodo semplificato per il calcolo della prestazione energetica invernale degli edifici (EP_i), illustrato nell'Allegato n. 2 delle stesse, ed un metodo basato sulla determinazione di parametri qualitativi ai fini della valutazione della prestazione energetica estiva (EP_e). I parametri qualitativi in questione sono lo sfasamento e l'attenuazione, entra in gioco la Trasmittanza termica periodica Y_{IE} (il parametro che valuta la capacità di una parete opaca di sfasare ed attenuare il flusso termico che la attraversa nell'arco delle 24 ore) come definita dalla norma UNI EN ISO 13786:2008.

Invece il DLgs 115/08, in vigore dal 30 maggio 2008, recepisce la direttiva 2006/32/CE e introduce novità soprattutto in materia di bonus volumetrici, normativa tecnica e abilitazione alla certificazione energetica.

Appendice 1 – Metodo semplificato per calcolo EP_i (da allegato 2 del DM 26.06.09 [4])

Secondo le Linee Guida per la certificazione energetica, nel caso di edifici residenziali esistenti con superficie utile fino a 1000 m², l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale (EP_i) può essere ricavato in modo semplificato come segue:

$$EP_i = \frac{(Q_h / A_{pav})}{\eta_g} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{anno})]$$

Dove:

Q_h = fabbisogno di energia termica per riscaldamento dell'edificio, espresso in kWh,

A_{pav} = la superficie utile (pavimento) espressa in m²,

η_g = rendimento globale medio stagionale.

Il fabbisogno di energia termica dell'edificio Q_h è dato da:

$$Q_h = 0,024 \cdot GG \cdot (H_T + H_V) - f_x \cdot (Q_s + Q_i) \quad [\text{kWh}]$$

Dove:

- GG sono i gradi giorno della città nella quale viene ubicato l'edificio in esame [K·gg];
- H_T è il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione, corretto per tenere conto della differenza di temperatura interno-esterno di ciascuna superficie disperdente [W/K];
- H_V è il coefficiente globale di scambio termico per ventilazione [W/K];
- f_x è il coefficiente di utilizzazione degli apporti gratuiti (adimensionale), assunto pari a 0,95;
- Q_s sono gli apporti solari attraverso i componenti di involucro trasparente [kWh];
- Q_i sono gli apporti gratuiti interni [kWh].

Si noti che i GG, essendo calcolati come sommatoria delle differenze di temperatura medie giornaliere tra interno ed esterno estesa alla stagione di riscaldamento, contengono l'informazione "numero dei giorni della stagione di riscaldamento", pertanto moltiplicando per 0,024 ottengo una quantità di energia espressa in kWh.

Il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione è così calcolato:

$$H_T = \sum_{i=1}^n S_i \cdot U_i \cdot b_{tr,i} \quad [\text{W/K}]$$

dove:

- S_i = superfici esterne che racchiudono il volume lordo riscaldato. Non si considerano le superfici verso altri ambienti riscaldati alla stessa temperatura [m²];
- U_i = trasmittanza termica della struttura [W/m²·K], nell'impossibilità di reperire le stratigrafie delle pareti opache e delle caratteristiche degli infissi;
- possono essere adottati i valori riportati nella norma UNI/TS 11300-1, rispettivamente nell'appendice A e nell'appendice C;
- $b_{tr,i}$ = fattore di correzione dello scambio termico verso ambienti non climatizzati o verso il terreno (adimensionale), si possono assumere i valori contenuti nei prospetti riportati nei precedenti paragrafi 16.4.10 e 16.4.11, tratti dalla norma UNI/TS 11300-1.

Il coefficiente globale di scambio termico per ventilazione è calcolabile come segue:

$$H_V = 0,34 \cdot n \cdot V_{netto} \quad [W/K]$$

dove:

- n = numero di ricambi d'aria pari a 0,3 vol/h,
- V_{netto} = In assenza di informazioni sul volume netto dell'ambiente climatizzato, si assume pari al 70% del volume lordo,
- il coefficiente 0,34 non è ovviamente a-dimensionale: contiene il prodotto di densità (circa 1,2 kg/m³) e calore specifico dell'aria (1006 J/(kg·K)) diviso per i 3600 secondi contenuti in un'ora.

Apporti solari attraverso i componenti di involucro trasparente:

$$Q_s = 0,2 \cdot \sum_{i=1}^n I_{sol,i} \cdot S_{serr.,i} \quad [kWh]$$

Dove:

- 0,2 = coefficiente di riduzione che tiene conto del fattore solare degli elementi trasparenti e degli ombreggiamenti medi,
- $I_{sol,i}$ = irradianza totale stagionale (nel periodo di riscaldamento) sul piano verticale [kWh/m²], per ciascuna esposizione i-esima. Questo valore si calcola come sommatoria dei valori di irradianza media mensile sul piano verticale riportati nella UNI 10349, estesa ai mesi della stagione di riscaldamento. Per i mesi non completamente compresi nella stagione di riscaldamento (es. ottobre ed aprile per la zona E) si utilizza un valore di irradianza pari alla quota parte del mese,
- $S_{serr.,i}$ = superficie dei serramenti relativi all'esposizione i-esima.

Apporti gratuiti interni:

$$Q_i = (\Phi_{int} \cdot A_{pav} \cdot h) / 1000 \quad [kWh]$$

Dove:

- Φ_{int} = apporti interni gratuiti, valore convenzionale assunto pari a 4 W/m² per edifici residenziali,
- h = numero di ore della stagione di riscaldamento.

Rendimento globale medio stagionale:

$$\eta_g = \eta_e \cdot \eta_{rg} \cdot \eta_d \cdot \eta_{gn}$$

dove:

- η_e = rendimento di emissione, valori del prospetto 17 della UNI/TS 11300-2,
- η_{rg} = rendimento di regolazione, valori del prospetto 20 della UNI/TS 11300-2,
- η_d = rendimento di distribuzione, valori dei prospetti 21 (a,b,c,d,e) della UNI/TS 11300-2,
- η_{gn} = rendimento di generazione, valori dei prospetti 23 (a,b,c,d,e) della UNI/TS 11300-2.

Appendice 2 – Dispersioni verso il terreno (da norma EN ISO 13370: 1998)

Se le dispersioni verso il suolo sono rilevanti dev'essere fatto un calcolo dettagliato delle stesse in accordo col punto B.1 della EN ISO 13370: 1998 [6].

In tal caso l'energia dispersa Q_L sarà data dalle seguenti equazioni.

Senza suddivisione in diversi periodi di riscaldamento:

$$Q_L = (H' \cdot (t_i - t_e) + \Phi_G) \cdot \tau \quad (5)$$

con suddivisione in diversi periodi di riscaldamento:

$$Q_L = \sum_{j=1}^N N_j \cdot H'_j \cdot (t_{iadj,j} - t_e) \cdot \tau_j + \Phi_G \cdot \tau \quad (6)$$

dove:

- H' è calcolato come al punto precedente ma senza tener conto delle dispersioni verso il suolo,
- Φ_G è il tasso di dispersione termica verso il suolo calcolato secondo la EN ISO 13370: 1998.

La EN ISO 13370 fornisce metodi semplificati di uso pratico, distinguendo:

- pavimento su terreno non isolato o uniformemente isolato,
- pavimento su terreno con isolamento perimetrale,
- pavimento su intercapedine (su vespaio),
- piano interrato riscaldato,
- piano interrato non riscaldato.

Per ognuno di questi casi viene calcolato un valore della trasmittanza da utilizzare per il calcolo del calore complessivamente scambiato con il terreno durante l'intero periodo di riscaldamento.

Per le proprietà termiche del terreno si possono assumere i seguenti valori:

Tipo di terreno	λ [W/(m·K)]	$\rho \cdot c$ [J/(m ³ ·K)]
Argilla o limo	1,5	$3 \cdot 10^6$
Sabbia o ghiaia	2,0	$2 \cdot 10^6$
Roccia omogenea	3,5	$2 \cdot 10^6$

Se non si conosce il tipo di terreno o se esso non è riconducibile ai tre casi sopraelencati si assumono i valori: $\lambda = 2$ W/(m·K) e $\rho \cdot c = 2 \cdot 10^6$ J/(m³·K).

Per la resistenza termica superficiale si assumono i seguenti valori:

- superficie interna, flusso discendente: $R_{si} = 0,17$ m²·K/W,
- superficie interna, flusso orizzontale: $R_{si} = 0,13$ m²·K/W,
- superficie interna, flusso ascendente: $R_{si} = 0,10$ m²·K/W,
- superficie esterna, in tutti i casi: $R_{se} = 0,04$ m²·K/W.

Il valore di R_{si} con flusso ascendente si usa per pavimenti con impianto di riscaldamento integrato (pannelli radianti) e nel caso di magazzini frigo. Per quanto riguarda la temperatura esterna, si considera la media annuale delle temperature dell'aria esterna.

Si utilizzano inoltre i seguenti parametri:

- B' : "dimensione caratteristica del pavimento", definita come l'area del pavimento divisa per il suo semiperimetro:

$$B' = \frac{A}{0,5 \cdot P} \quad [m]$$

- d_t : spessore equivalente per i pavimenti,
- d_w : spessore equivalente per pareti di piani interrati.

a) - Pavimento su terreno non isolato o uniformemente isolato, lo "spessore equivalente del pavimento" è pari a:

$$d_t = w + \lambda \cdot (R_{si} + R_f + R_{se})$$

dove w è lo spessore dei muri perimetrali, e R_f è la resistenza termica degli strati costituenti il pavimento.

Se $d_t < B'$ il pavimento si considera non isolato o moderatamente isolato, e la sua trasmittanza è calcolabile con la formula:

$$U_o = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot B' + d_t} \cdot \ln\left(\frac{\pi \cdot B'}{d_t} + 1\right)$$

se $d_t \geq B'$ si assume che il pavimento sia bene isolato, e la sua trasmittanza è calcolabile con:

$$U_o = \frac{\lambda}{0,457 \cdot B' + d_t}$$

b) - Pavimento su terreno con isolamento perimetrale. Se il pavimento è anche dotato di un isolamento perimetrale, va aggiunto un fattore di correzione, che vale:

$$\Delta\Psi = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \left[\ln\left(\frac{D}{d_t} + 1\right) + \ln\left(\frac{D}{d_t + d'} + 1\right) \right]$$

Dove d' è lo spessore equivalente addizionale dovuto all'isolamento perimetrale, calcolabile come di seguito descritto.

Indicando con d_n è lo spessore dell'isolamento aggiuntivo, e con D la sua larghezza, ricordando che λ è la conduttività del terreno mentre λ_m è quella del terreno di fondazione, e con R_n la resistenza termica dell'isolamento aggiuntivo.

Posto: $R' = R_n - d_n / \lambda$, si ha: $d' = R' \cdot \lambda$.

La trasmittanza termica complessiva del pavimento isolato e con coibentazione perimetrale aggiuntiva risulta essere:

$$U = U_o + 2 \cdot \Delta\Psi / B'$$

Se l'isolamento perimetrale è disposto verticalmente, anziché orizzontalmente sotto il bordo del pavimento, il fattore di correzione è calcolabile con la seguente formula dove D rappresenta la profondità cui si spinge l'isolamento perimetrale:

$$\Delta\Psi = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \left[\ln\left(\frac{2 \cdot D}{d_t} + 1\right) + \ln\left(\frac{2 \cdot D}{d_t + d'} + 1\right) \right]$$

La stessa formula si applica anche nei casi in cui, oltre ad essere presente l'isolamento distribuito, la fondazione sia realizzata con un materiale avente conduttività inferiore a quella del terreno. In questo caso D sarà pari alla profondità della fondazione.

c) - Pavimento su intercapedine (su vespaio), l'intercapedine si intende ventilata naturalmente con aria esterna, in tal caso la trasmittanza del pavimento è calcolabile con la relazione:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_x}$$

Dove:

- U_f trasmittanza termica della parte sospesa di pavimento,
- U_g trasmittanza dovuta al flusso termico attraverso il terreno,
- U_x trasmittanza termica equivalente che tiene conto degli scambi nel sottopavimento attraverso le pareti dell'intercapedine e dell'effetto della ventilazione.

La quantità U_f viene calcolata utilizzando i valori delle resistenze liminari precedentemente elencati.

La quantità U_g viene calcolata utilizzando le seguenti relazioni:

$$d_g = w + \lambda \cdot (R_{si} + R_g + R_{se})$$

$$U_g = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot B' + d_g} \cdot \ln \left(\frac{\pi \cdot B'}{d_g} + 1 \right)$$

Dove R_g rappresenta la resistenza termica degli (eventuali) isolamenti presenti sul fondo dell'intercapedine.

La quantità U_x viene calcolata come segue:

$$U_x = 2 \cdot h \cdot U_w / B' + 1450 \cdot \varepsilon \cdot v \cdot f_w / B'$$

Dove:

- h : altezza della superficie superiore del pavimento sul livello del terreno,
- U_w : trasmittanza termica delle pareti dell'intercapedine sopra il livello del terreno,
- ε : area delle aperture di ventilazione per unità di lunghezza del perimetro dell'intercapedine,
- v : velocità del vento a 10 m di altezza [m/s],
- f_w : coefficiente di schermatura del vento, i suoi valori possono essere: 0,02 in un sito riparato (es. centro città), 0,05 in un sito mediamente esposto, 0,10 in un sito esposto (es. campagna).

d) - Piano interrato riscaldato, è il caso in cui parte della zona termica si trovi interrata.

Avendo definito:

z : profondità del pavimento rispetto alla quota del suolo,

R_f : resistenza termica del pavimento,

R_w : resistenza termica delle pareti.

$d_t = w + \lambda \cdot (R_{si} + R_f + R_{se})$: spessore equivalente del pavimento

$d_w = \lambda \cdot (R_{si} + R_f + R_{se})$: spessore equivalente pareti del piano interrato.

La trasmittanza termica caratterizzante l'intero piano interrato (per la parte interrata) sarà:

$$U' = \frac{A \cdot U_{bf} + z \cdot P \cdot U_{bw}}{A + z \cdot P}$$

Dove U_{bf} rappresenta la trasmittanza del pavimento mentre U_{bw} quella della parte interrata delle pareti. Il valore della prima è così calcolabile, se $d_t + 0,5 \cdot z < B'$ vuol dire che il pavimento non è isolato o lo è moderatamente, in tal caso la sua trasmittanza sarà:

$$U_{bf} = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot B' + d_t + 0,5 \cdot z} \cdot \ln \left(\frac{\pi \cdot B'}{d_t + 0,5 \cdot z} + 1 \right)$$

Se invece $d_t + 0,5 \cdot z \geq B'$ il pavimento è ben isolato, si utilizza la seguente espressione per il calcolo della sua trasmittanza:

$$U_{bf} = \frac{2 \cdot \lambda}{0,475 \cdot B' + d_t + 0,5 \cdot z}$$

La trasmittanza della parte interrata delle pareti vale invece:

$$U_{bw} = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot z} \cdot \left(1 + \frac{0,5 \cdot d_t}{d_t + z} \right) \cdot \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right)$$

Essa è valida se $d_w \geq d_t$, altrimenti nella formula si deve sostituire d_t con d_w .

Qualora un edificio avesse parte di pavimento contro terra e parte in piano interrato, la norma suggerisce di considerare il pavimento tutto interrato ad una profondità pari alla metà della profondità effettiva della parte interrata.

e) - Piano interrato non riscaldato. La trasmittanza si ottiene dalla:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{A}{A \cdot U_{bf} + z \cdot P \cdot U_{bw} + h \cdot P \cdot U_w + 0,33 \cdot n \cdot V}$$

Dove:

- h : altezza della superficie superiore del pavimento sul livello del terreno,
- U_w : trasmittanza termica delle pareti dell'intercapedine sopra il livello del terreno,
- z : profondità pavimento intercapedine rispetto al terreno,
- n : numero dei ricambi d'aria all'ora nell'intercapedine (in mancanza di informazioni specifiche si assume $n=0,3$),
- V : volume d'aria del piano interrato.

Appendice 3 – Ricambi d'aria per ventilazione (da norma UNI 10339: 1995).

Portate di aria esterna e di estrazione in funzione della destinazione d'uso [UNI 10339:], sono riferite alle condizioni di aria secca a $t = 15 \text{ °C}$, $p = 101325 \text{ Pa}$ e $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$, e ad impianti a regime. L'indicazione "estrazioni" significa che le portate di aria immesse devono essere estratte preferibilmente attraverso i locali indicati, i quali andranno dunque mantenuti in depressione.

Portate di aria esterna in edifici ad uso civile.

Categoria	Portata in $10^{-3} \text{ m}^3/(\text{s}\cdot\text{persona})$	Portata in $10^{-3} \text{ m}^3/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$	Note
Residenze a carattere continuativo e non Abitazioni civili:			
- soggiorni camere da letto	11		
- cucina, bagni, servizi	Estrazioni		A
Collegi, luoghi di ricovero, case di pena, caserme, conventi:			
- sale di riunione	9*		
- dormitori, camere	11		
- cucina		16,5	
- bagni, servizi	Estrazioni		
Alberghi, pensioni e simili:			
- ingresso, soggiorni	11		
- sale conferenze (piccole)	5,5*		
- auditoria (grandi)	5,5*		
- sale da pranzo	10		
- camere da letto	11		
- bagni, servizi	Estrazioni		
Edifici per Uffici ed assimilabili:			
- uffici singoli	11		
- uffici open space	11		
- locali di riunione	10*		
- centro elaborazione dati	7		
- servizi	Estrazioni		
Ospedali, cliniche, case di cura e simili **			
- degenze (2-3 letti)	11		
- corsie	11		
- camere sterili	11		
- camere per infettivi			D
- sale mediche, soggiorni	8,5		
- terapie fisiche	11		
- sale operatorie, sale parto			D
- servizi	Estrazioni		
Edifici per attività associative, ricreative, di culto ed assimilabili:			
Cinematografi, teatri, sale per congressi:			
- atria, sale di attesa (foyer), bar	Estrazioni		
- Platee, loggioni, aree per il pubblico, sa- le riunioni senza fumatori	5,5*		
- palcoscenici, studi TV	12,5*		
- sale riunioni con fumatori	10*		
- servizi	Estrazioni		A
- borse titoli	10*		
- sale di attesa, stazioni e metropolitane,	estrazioni		A
Mostre, musei biblioteche, luoghi di culto			
- sale mostre, pinacoteche, musei	6*		
- sale lettura, biblioteche	5,5*		

- depositi libri		1,5	
- luoghi di culto	6*		
- servizi	Estrazioni		A
Bar, ristoranti, sale da ballo			
- bar	11		A
- pasticcerie	6		A
- sale da pranzo di ristoranti e self-service	10		
- sale da ballo	16,5*		
- cucine		16,5	
- servizi	Estrazioni		
Attività commerciali e assimilabili			
- grandi magazzini, piano interrato	9		B
- grandi magazzini, piani superiori	6,5		
- negozi o reparti di grandi magazzini			
- barbieri o saloni di bellezza	14		
- abbigliamento, calzature, mobili, ottici, fioristi, fotografi	11,5		
- alimentari, lavasecco, farmacie	9		
- zone pubblico di banche e quartieri fieristici	10		
Edifici adibiti ad attività sportive			
Piscine, saune e assimilabili			
- piscine (sala vasca)		2,5	C
- piscine spogliatoio/servizi	Estrazioni		A
- saune		2,5	C
Palestre ed assimilabili			
- palasport	6,5*		
- bowling	10		
- palestre, area gioco	16,5*		
- palestre, area spettatori	6,5*		
- spogliatoio/servizi atleti	Estrazioni		A
- servizi pubblico	Estrazioni		A
Edifici adibiti ad attività scolastiche ed assimilabili			
- asilo nido e scuole materne	4		
- aule scuole elementari	5		
- aule scuole medie inferiori	6		
- aule scuole medie superiori	7		
- aule universitarie	7		
- zone di transito			
- servizi	Estrazioni		A
- biblioteche, sale lettura	6		
- aule musica e lingue	7		
- laboratori	7		
- sale insegnanti	6		

* salvo indicazioni di seguito riportate per i locali di pubblico spettacolo o di riunione.

** non è ammesso l'utilizzo di aria di ricircolo.

A – ricambi richiesti per i servizi igienici: 0,0011 Volumi/s (4 Volumi/h) per residenze e assimilabili, 0,0022 Volumi/s (8 Volumi/h) negli altri casi riportati in tabella. Il volume è quello dei bagni, antiba-

gni esclusi.

B – Verificare i regolamenti edilizi locali.

C – Valori più elevati possono essere richiesti per il controllo dell'umidità.

D – Le portate d'aria possono essere stabilite in base alle prescrizioni vigenti ed alle specifiche applicazioni.

Per i locali di pubblico spettacolo o di riunione la portata effettiva di ventilazione è determinata tenendo conto del rapporto tra volume interno V ed affollamento n , espresso in m^3 /persona.

In particolare:

- se $V/n \leq 15$ si assumono i valori riportati nel tabulato precedente,
- se $V/n \geq 45$ si applica il metodo A,
- se $15 < V/n < 45$ si applica il metodo B.

Metodo A

La portata effettiva viene assunta pari alla portata minima di ventilazione V_{min} come di seguito definita:

\dot{V}_p Portata in $10^{-3} m^3/(s \cdot persona)$ da prospetto precedente	$\dot{V}_{p,min}$ Portata minima in $10^{-3} m^3/(s \cdot persona)$
Fino a 7	4
Da 7 a 10	5,5
Da 10 a 12,5	7
Oltre 12,5	8,5

Metodo B

La portata effettiva \dot{V}_{eff} è ricavata dalla seguente formula:

$$\dot{V}_{eff} = \dot{V}_p + m \cdot \left(\frac{V}{n} - 15 \right)$$

dove:

- \dot{V}_p è la portata di aria esterna per persona ricavata dal precedente tabulato,
- $m = (\dot{V}_{p,min} - \dot{V}_p) / (45 - 15)$.

Ai fini del risparmio energetico gli impianti aeraulici di questi locali devono essere dotati di un sistema di controllo della portata di aria immessa in funzione del numero di persone effettivamente presenti.

Riferimenti bibliografici, normativi e legislativi

- [1] Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n.192 (GU n. 222 del 23-9-2005- Suppl. Ord. n.158) Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia.
- [2] Decreto Legislativo 29 dicembre 2006, n. 311 (G.U. n. 26 del 1.2.2007 - Suppl. Ord. n. 26/L).
- [3] DPR 59/09 pubblicato in G.U il 10 Giugno 2009.
- [4] DM 26.06.09. *Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.*
- [5] UNI EN ISO 13790: Giugno 2008. *Prestazione termica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento ed il raffrescamento.* Recepimento della norma europea: EN ISO 13790 (Marzo 2008) "Energy performance of buildings — Calculation of energy use for space heating and cooling".
- [6] UNI/TS 11300-1: Maggio 2008. *Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale*
- [7] UNI/TS 11300-2: Maggio 2008. *Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.*
- [8] UNI/TS 11300-3: Maggio 2008. *Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva.*
- [9] UNI/TS 11300-4: Maggio 2008. *Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per riscaldamento di ambienti e preparazione acqua calda sanitaria.*
- [10] UNI EN ISO 13786: Maggio 2008. *Prestazione termica dei componenti per edilizia Caratteristiche termiche dinamiche - Metodi di calcolo.*
- [11] www.anit.it sezione "Documenti e Leggi", "sintesi ANIT sul DPR 59/09 – Attuazione del DLgs 192/05, decreto che sostituisce le disposizioni transitorie dell'Allegato I del DLgs 192/05 per l'attuazione della dir. 2002/91/CE"
- [12] DPR 26 agosto 1993, n. 412. *Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della legge 9 gennaio 1991, n. 10.*
- [13] UNI 10349: Aprile 1994. *Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici.*
- [14] UNI 10351: Marzo 1994. *Materiali da costruzione - Conduttività termica e permeabilità al vapore.*
- [15] UNI EN ISO 14683: Aprile 2001. *Ponti termici in edilizia – Coefficiente di trasmissione termica lineica – Metodi semplificati e valori di riferimento.*
- [16] EN ISO 13370: 1998. *Prestazione termica degli edifici - Trasferimento di calore attraverso il terreno – Metodo di calcolo.*